

AN: PAT 1989-078053

TI: NC controlled grinding machine tool has detector to monitor cutting force and apply correction to cut

PN: **DE3828594-A**

PD: 09.03.1989

AB: An NC controlled cylindrical grinding machine tool has the workpiece (2) held between centres (4,6) and is rotated while a grinding wheel (12) rotating at high speed is moved axially along its length. The wheel is mounted on a carriage (16) that moves on a slideway (14). The grinding wheel is driven by a motor (24) and a detector (26) monitors cutting force to apply a correction to the depth of cut. A separate motor (20) controls the feed rate, with the depth of cut having an infeed servo motor (22). The system has a controller that monitors the detector output and determines the signals to be applied to the drives.; Provides correction in cutting for load applied causing deflection.

PA: (TOKE ) TOSHIBA KK; (TOSI ) TOSHIBA KIKAI KK;  
(TOSI ) TOSHIBA MACHINE CO LTD;  
(TOSI ) TOSHIBA MACHINERY CO LTD;

IN: KUNUGI T; TAKASHI K;

FA: **DE3828594-A** 09.03.1989; **DE3828594-C2** 25.04.2002;  
US5315789-A 31.05.1994; KR9408050-B1 01.09.1994;  
KR9408088-B1 02.09.1994;

CO: DE; KR; US;

IC: B24B-049/00; B24B-051/00; G05B-019/18;

MC: T06-A04A; T06-D07A; X25-A03C; X25-A03F;

DC: P61; T06; X25;

PR: JP0210652 24.08.1987; JP0210653 24.08.1987;  
JP0239778 22.09.1987; JP0239779 22.09.1987;  
JP0239780 22.09.1987; JP0239781 22.09.1987;  
JP0239782 22.09.1987; JP0241996 24.09.1987;

FP: 09.03.1989

UP: 10.05.2002

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3828594 A1**

⑤① Int. Cl. 4:  
**B24B 51/00**  
G 05 B 19/18

②① Aktenzeichen: P 38 28 594.0  
②② Anmeldetag: 23. 8. 88  
④③ Offenlegungstag: 9. 3. 89

*Behördeneigentum*

DE 3828594 A1

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①

24.08.87 JP P 62-210652	24.08.87 JP P 62-210653
22.09.87 JP P 62-239778	22.09.87 JP P 62-239779
22.09.87 JP P 62-239780	22.09.87 JP P 62-239781
22.09.87 JP P 62-239782	24.09.87 JP P 62-241996

⑦① Anmelder:

Toshiba Kikai K.K., Tokio/Tokyo, JP

⑦④ Vertreter:

Klunker, H., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat.; Schmitt-Nilson, G.,  
Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Hirsch, P., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦② Erfinder:

Kunugi, Takashi, Numazu, Shizuoka, JP

⑤④ Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine und Verfahren zum Steuern des damit durchgeführten Schleifvorgangs

Eine numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine, zum Beispiel eine Außenrundscheifmaschine, bearbeitet ein Werkstück zu einem Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche, indem das Werkstück mit vorbestimmter Drehzahl um die eigene Achse gedreht und ein Schleifwerkzeug radial und axial bezüglich des Werkstücks bewegt wird. Die Maschine besitzt einen ersten Motor zum Drehen des Schleifwerkzeugs um die eigene Achse und einen zweiten Motor zum Bewegen des Schleifwerkzeugs in radialer Richtung auf das Werkstück zu und von diesem fort. Außerdem enthält die Maschine einen Detektor, der den in den ersten Motor eingespeisten Antriebsstrom erfaßt, und eine Steuereinheit, die den von dem Detektor erfaßten Strom mit einem voreingestellten Sollstrom vergleicht, um den zweiten Motor auf der Grundlage des Vergleichsergebnisses zu steuern.

DE 3828594 A1

1. Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine zum Rundscheifen eines Werkstücks zu einem Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche (Walze), wozu das Werkstück (2) mit vorbestimmter Drehzahl um seine eigene Achse gedreht und ein Schleifwerkzeug (12) radial und axial zum Werkstück (2) bewegt wird, gekennzeichnet durch:

- eine erste Antriebseinrichtung (24) zum Drehen des Schleifwerkzeugs (12);
- eine Detektoreinrichtung (26), die den der ersten Antriebseinrichtung (24) zugeführten Antriebsstrom erfaßt;
- eine zweite Antriebseinrichtung (22), die das Schleifwerkzeug (12) radial zum Werkstück (2) bewegt;
- eine Steuereinrichtung (30), die den Wert des von dem Detektor (26) erfaßten Antriebsstroms mit einem voreingestellten Stromwert vergleicht und die zweite Antriebseinrichtung (22) auf der Grundlage des Vergleichsergebnisses steuert.

2. Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine zum Rundscheifen eines Werkstücks zu einem Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche (Walze), wozu das Werkstück (2) mit vorbestimmter Drehzahl um seine eigene Achse gedreht und ein Schleifwerkzeug (12) radial und axial zum Werkstück (2) bewegt wird, gekennzeichnet durch:

- eine erste Antriebseinrichtung (22) zum Bewegen des Schleifwerkzeugs (12) in radialer Richtung des Werkstücks (2);
- eine zweite Antriebseinrichtung (20) zum Bewegen des Schleifwerkzeugs (12) in axialer Richtung des Werkstücks;
- eine Einstelleinrichtung (46) zum Einstellen einer fertig geschliffenen Gestalt des Werkstücks in Form einer Formel; und
- eine Steuereinrichtung zum Erstellen von Punktmengendaten zum Steuern der ersten und der zweiten Antriebseinrichtung auf der Grundlage der von der Einstelleinrichtung eingestellten Formel.

3. Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine zum Rundscheifen eines Werkstücks zu einem Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche (Walze), wozu das Werkstück (2) mit vorbestimmter Drehzahl um seine eigene Achse gedreht und ein Schleifwerkzeug (12) radial und axial zum Werkstück (2) bewegt wird, gekennzeichnet durch:

- eine Detektoreinrichtung (26), die einen dem zum Drehen des Schleifwerkzeugs (12) vorgesehenen Antriebsmotor (24) zugeführten Antriebsstrom erfaßt;
- eine Verschleißkorrektoreinrichtung, die das Ausmaß des Verschleißes des Schleifwerkzeugs (12) als Korrekturbetrag für die Bewegung des Schleifwerkzeugs (12) in radialer Richtung des Werkstücks (2) auf der Grundlage des erfaßten Antriebsstromwerts berechnet, und
- eine Einrichtung zum Addieren des Korrekturbetrags der Bewegung des Schleifwerkzeugs zu einem Ziel-Bewegungsbetrag des Schleifwerkzeugs, um eine durch Verschleiß des Schleifwerkzeugs bedingte Reduzierung des Schleifabriebs zu kompensieren.

4. Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine zum Rundscheifen eines Werkstücks zu einem Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche (Walze), wozu das Werkstück (2) mit vorbestimmter Drehzahl um seine eigene Achse gedreht und ein Schleifwerkzeug (12) radial und axial zum Werkstück (2) bewegt wird, gekennzeichnet durch:

- eine Detektoreinrichtung (26), die einen dem das Schleifwerkzeug (12) drehenden Antriebsmotor (24) zugeführten Antriebsstrom erfaßt;
- eine für elastische Verformungen vorgesehene Korrektoreinrichtung, die das Ausmaß der elastischen Verformung des Schleifwerkzeugs (12), hervorgerufen durch das Schleifen des Werkstücks mit dem Schleifwerkzeug in radialer Richtung des Werkstücks, als Bewegungs-Korrekturbetrag des Schleifwerkzeugs auf der Grundlage des erfaßten Antriebsstroms berechnet; und
- eine Einrichtung zum Addieren des Bewegungs-Korrekturbetrags für das Schleifwerkzeug auf einen Ziel-Bewegungsbetrag des Schleifwerkzeugs, um eine durch elastische Verformung des Schleifwerkzeugs bedingte Reduzierung des Schleifabriebs zu kompensieren.

5. Verfahren zum Steuern des Schleifbetriebs einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine, die zum Rundscheifen eines Werkstücks zu einem Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche (Walze) dient, wozu das Werkstück mit vorbestimmter Drehzahl um seine eigene Achse gedreht und ein Schleifwerkzeug radial und axial zum Werkstück bewegt wird, gekennzeichnet durch:

- Auswählen eines Werkstücks und einer fertig geschliffenen Form, zu der das Werkstück geschliffen werden soll;
- Auswählen von Parametern für die ausgewählte fertig geschliffene Form;
- Berechnen von Punktmengendaten zum Schleifen des Werkstücks nach Maßgabe einer vorbestimmten Formel auf der Grundlage der Parameter der fertig geschliffenen Form;
- Speichern der Punktmengendaten in einem Speicher innerhalb eines Speicherbereichs, der dem Werkstück entspricht; und
- Lesen der gespeicherten Punktmengendaten aus dem Speicher und Steuern des Schleifwerkzeugs auf der Grundlage der Punktmengendaten, um das Werkstück zu der ausgewählten fertig geschliffenen Form zu schleifen.

6. Verfahren zum Steuern des Schleifbetriebs einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine, die zum Rundscheifen eines Werkstücks zu einem Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche (Walze) dient, wozu das Werkstück mit vorbestimmter Drehzahl um seine eigene Achse gedreht und ein Schleifwerkzeug radial und axial zum Werkstück bewegt wird, gekennzeichnet durch:

- Erfassen eines dem das Schleifwerkzeug antreibenden Antriebsmotor zugeführten Antriebsstroms;
- Veranlassen des Schleifwerkzeugs, radial in das Werkstück einzuschneiden, bis der Wert des erfaßten Antriebsstroms einen voreingestellten Stromwert erreicht;
- anschließend, Bewegen der Schleifscheibe

in axialer Richtung des Werkstücks, um das Werkstück zu schleifen;

– wenn der Wert des erfaßten Antriebsstroms unter den voreingestellten Stromwert fällt, Veranlassen des Schleifwerkzeugs, in radialer Richtung des Werkstücks in dieses einzuschneiden, bis der Wert des erfaßten Antriebsstroms den voreingestellten Stromwert erreicht; und

– Umkehren der Bewegung des Schleifwerkzeugs in axialer Richtung des Werkstücks, um dieses kontinuierlich zu schleifen.

7. Verfahren zum Steuern des Schleifbetriebs einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine, die zum Runds Schleifen eines Werkstücks zu einem Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche (Walze) dient, wozu das Werkstück mit vorbestimmter Drehzahl um seine eigene Achse gedreht und ein Schleifwerkzeug radial und axial zum Werkstück bewegt wird, gekennzeichnet durch:

– Erfassen eines in einen das Schleifwerkzeug drehenden Antriebsmotor eingespeisten Antriebsstroms; und

– nachdem der Wert des erfaßten Antriebsstroms einer voreingestellten Vergleichsbedingung genügt, Umschalten von einem gerade ausgeführten Bearbeitungsprogramm zu einem anderen Bearbeitungsprogramm.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem, wenn der Wert des erfaßten Stroms einen voreingestellten Stromwert erreicht, was der voreingestellten Vergleichsbedingung entspricht, das Umschalten von dem Bearbeitungsprogramm auf das andere Bearbeitungsprogramm durchgeführt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem die Differenz zwischen dem Wert des erfaßten Antriebsstroms und einem voreingestellten Stromwert, wobei es sich um die voreingestellte Vergleichsbedingung handelt, bestimmt wird, und das Schleifwerkzeug mit einer vorbestimmten Drehzahl abhängig von der Differenz in Richtung auf das Werkstück bewegt wird, um das Werkstück zu schleifen.

10. Verfahren zum Steuern des Schleifbetriebs einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine, die zum Runds Schleifen eines Werkstücks zu einem Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche (Walze) dient, wozu das Werkstück mit vorbestimmter Drehzahl um seine eigene Achse gedreht und ein Schleifwerkzeug radial und axial zum Werkstück bewegt wird, gekennzeichnet durch:

– Bereitstellen einer Mehrzahl von Befehlen zum Vorgeben vorgeschriebener Bewegungen für eine erste Antriebseinrichtung zum Drehen des Schleifwerkzeugs, eine zweite Antriebseinrichtung zum Bewegen des Schleifwerkzeugs in radialer Richtung des Werkstücks, und eine dritte Antriebseinrichtung zum Bewegen des Schleifwerkzeugs in axialer Richtung des Werkstücks, um verschiedene Bearbeitungsfunktionen auszuführen, und eines speziellen Befehls für die Freigabe mindestens eines der Merzhahl von Befehlen; und

– Auswählen und Freigeben zumindest eines Befehls aus der Mehrzahl von Befehlen auf der Grundlage von Parametern, die mit dem speziellen Befehl gegeben werden, um das Werkstück zu schleifen.

11. Verfahren zum Steuern des Schleifbetriebs ei-

ner numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine, die zum Runds Schleifen eines Werkstücks zu einem Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche (Walze) dient, wozu das Werkstück mit vorbestimmter Drehzahl um seine eigene Achse gedreht und ein Schleifwerkzeug radial und axial zum Werkstück bewegt wird, gekennzeichnet durch:

– Erfassen eines in einen das Schleifwerkzeug drehenden Antriebsmotor eingespeisten Antriebsstroms;

– Berechnen eines Korrektur-Bewegungsbetrags für das Schleifwerkzeug entsprechend dem Ausmaß des Verschleißes des Schleifwerkzeugs für die Radialrichtung des Werkstücks auf der Grundlage des erfaßten Antriebsstroms;

– anschließendes Korrigieren eines Verschleißkorrekturkoeffizienten in einem vorbestimmten Zeitintervall auf der Grundlage der Differenz zwischen dem Wert eines Sollstroms, der dem Antriebsmotor zuzuführen ist, und dem erfaßten Wert des Antriebsstroms, sowie des vorbestimmten Zeitintervalls; und

– Korrigieren des Korrektur-Bewegungsbetrags für das Schleifwerkzeug sukzessive mit dem Verschleißkorrekturkoeffizienten, sowie Addieren des korrigierten Betrags auf einem Ziel-Bewegungshub, um eine durch Verschleiß des Schleifwerkzeugs bedingte Reduzierung des Schleifabtriebs beim Schleifen des Werkzeugs zu kompensieren.

#### Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine, zum Beispiel eine Runds Schleifmaschine zum Schleifen eines Werkstücks zu einer Walze oder – allgemein – zu einem Körper mit einer rotationssymmetrischen Schleiffläche. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Steuern des Betriebs einer solchen numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Werkzeugmaschine, die in der Lage ist, ein Werkstück in eine gewünschte Form zu bringen, wobei Verschleiß, Beschädigungen und andere Beeinträchtigungen eines Werkstücks korrigiert werden, und darüber hinaus eine elastische Verformung des Werkstücks, ein Verschleiß des Werkzeugs und dergleichen berücksichtigt wird.

Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, insbesondere Runds Schleifmaschinen und Walzens Schleifmaschinen, mit denen Werkstücke zu Körpern mit rotationssymmetrischer Schleiffläche bearbeitet werden, sind im allgemeinen so ausgelegt, daß sie das sich mit vorbestimmter Drehzahl drehende Werkstück dadurch bearbeiten, daß ein Werkzeug radial in Richtung auf das Werkstück und von diesem weg sowohl axial bezüglich des Werkstück bewegt wird. Da das Werkzeug bewegt wird, besitzt die Werkzeugmaschine einen Speicher zum Speichern von numerischen Steuerdaten, durch die Radialbewegungshübe des Werkzeugs sukzessive programmiert sind, abhängig von der axialen Stellung des Werkzeugs. Eine Steuereinheit liefert Steuerimpulse an Antriebseinheiten, um das Werkzeug auf der Grundlage der numerischen Steuerdaten zu bewegen. Ein typischer Vertreter der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen ist eine Runds Schleifmaschine.

Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche (im folgenden allgemeine als Walzen bezeichnet), die von

einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine gefertigt werden, können unterschiedlichste Formen annehmen, von einfachen zylindrischen Walzen über konische Walzen, bis zu Körpern mit sinusförmiger oder gekrümmter Außenumfangsfläche für verschiedene Anwendungsfälle. Früher wurden derartige "Walzen" mit speziellen Umfangsformen hauptsächlich mit Hilfe von Steuerkurven geschliffen. Die Verwendung von Steuerkurven hat jedoch den Nachteil, daß für unterschiedliche Umfangsformen, verschiedener Längen, verschiedener Radien oder andere Formen verschiedene Steuerkurven verwendet werden müssen. Dies ist nicht wirtschaftlich.

Die Herstellung eines Werkstücks mit einer relativ einfachen Umfangsform, die sich durch eine einfache Formel beschreiben läßt, beispielsweise durch eine Sinuskurve, ist relativ einfach. Bei einem solchen Bearbeitungsvorgang wird der zu bearbeitende Werkstückabschnitt in kleine Segmente unterteilt, von denen jedes annähernd einer geraden Linie oder einer Kurve entspricht, um auf diese Weise numerische Steuerdaten (ein Bearbeitungsprogramm) zu erzeugen. Die so erzeugten numerischen Daten werden zur Steuerung der Werkzeugmaschine verwendet. Da solche Bearbeitungsprogramme jedoch umfangreich und kompliziert sind, eignen sie sich kaum für die Herstellung von Walzenkörpern mit komplizierter Kontur.

Um ein Werkstück mit hoher Präzision zu einem walzenförmigen Körper, d.h. zu einem Körper mit rotationssymmetrischer Schleiffläche, zu verarbeiten, muß die Einschnitttiefe, um die das Werkstück radial von einem Werkzeug geschliffen wird (d.h. von einer sich drehenden Schleifscheibe), während des Schleifvorgangs sorgfältig beachtet werden. Wenn keine anderen Faktoren oder Elemente berücksichtigt werden müßten, wäre eine Ziel-(Soll-)Schnitttiefe die gleiche wie die Netto-Schnitttiefe, so daß es möglich wäre, das Werkstück exakt zu schleifen.

Bei einer Rundschleifmaschine ist jedoch die sich drehende Schleifscheibe bei fortschreitenden Schleifprozeß mehr und mehr verschliffen, so daß die tatsächliche Schnitttiefe kleiner ist als die vorgegebene Ziel-Schnitttiefe. Da ferner während des Schleifvorgangs die Schleifscheibe mit einem gewissen Druck gegen das Werkstück gepreßt wird, wird das Werkstück oder die Walze geringfügig elastisch verformt. Das Ausmaß, um das die Walze elastisch verformt wird, ist ebenfalls maßgeblich für die Reduzierung der tatsächlichen Schnitttiefe, die unter der vorgegebenen Ziel-Schnitttiefe liegt.

Das hochgenaue Schleifen eines Werkstücks zu einem walzenförmigen Körper erfordert daher ein Bearbeitungsprogramm, welches den Verschleiß der Schleifscheibe und die elastische Verformung des Werkstücks (der Walze) in Rechnung stellt. Da die Beträge für eine Korrektur, die durch das Bearbeitungsprogramm bezüglich Verschleiß und elastischer Verformung von Schleifscheibe zu Schleifscheibe und von Walze zu Walze variieren, müssen Vorhersagewerte für die Korrekturbeträge für jede Schleifscheibe und für jede Walze bestimmt werden. Das Ausmaß des Verschleißes der Schleifscheibe variiert mit dem zeitlichen Ablauf des Schleifvorgangs, und es ist äußerst schwierig, ein numerisches Steuerprogramm zu erstellen, welches eine solche zeitabhängige Änderung des Verschleißes berücksichtigt. Eine praktische Verfahrensweise beim Schleifen eines Werkstücks mit Hilfe eines Bearbeitungsprogramms bestand darin, die Abmessungen einer Walze zu messen, um deren Dimensionsgenauigkeit zu ermit-

teln, während sich die Schleifscheibe einer Ziel-Stelle näherte, um die Schneidtiefe zu korrigieren und den Schleifvorgang erneut zu starten. Diese Vorgehensweise ist jedoch nicht sehr effizient.

Walzen, die für eine längere Dauer in Betrieb gewesen sind, sind unterschiedlich abgenutzt, abhängig davon, wie sie eingesetzt worden sind und wofür sie verwendet worden sind. Selbst eine einzelne Walze besitzt einen Abschnitt, der stärker abgenutzt ist als ein anderer Abschnitt. Um eine solche Walze wirksam schleifen zu können, wurde der weniger abgenutzte Abschnitt intensiv zu einer gewünschten Walzenform geschliffen. Dies wird auch als Abdrehen bezeichnet.

Beim Abdrehen wird die individuelle Walzenform gemessen, um den Verschleiß zu prüfen, und auf der Grundlage der Messung wird ein Bearbeitungsprogramm zum Schleifen der Walze erstellt. Alternativ wird zum Schleifen der Walze ein Bearbeitungsprogramm verwendet, welches die Walze auf einen gleichmäßigen Durchmesser schleift, ungeachtet des Verschleißes der Walze. Bei der erstgenannten Vorgehensweise werden Bearbeitungsprogramme für zu schleifende Walzen abhängig vom Verschleißzustand der Walzen erstellt. Bei der letztgenannten Vorgehensweise des gleichmäßigen Schleifens müssen die Bearbeitungsprogramme nicht für einzelne Walzen erstellt werden, aber es ergeben sich lange Bearbeitungszeiten, da die Walzen ungeachtet ihres Verschleißzustands gleichmäßig geschliffen werden müssen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine, insbesondere eine Rundschleifmaschine anzugeben, die in der Lage ist, ein Werkstück wirksam und mit hoher Genauigkeit zu einer gewünschten Form zu schleifen, wobei ein Verschleiß des Werkzeugs wie beispielsweise einer Schleifscheibe ebenso berücksichtigt wird wie eine elastische Verformung und eine lokale Abnutzung des Werkstücks. Außerdem soll ein Verfahren zum Steuern einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine angegeben werden.

Diese Aufgabe wird durch die in den Patentansprüchen angegebene Erfindung gelöst.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische, teilweise in Blockform dargestellte Ansicht einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine;

Fig. 2 ein Flußdiagramm eines Prozesses zum Herstellen einer Walze einer gewünschten Form mit Hilfe der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine,

Fig. 3a - 3e Teilansichten zum Veranschaulichen von Formen und Parametern von Walzen,

Fig. 4 ein Diagramm, welches Speicherbereiche zum Speichern von Walzenformen, Parametern und weiteren Daten darstellt,

Fig. 5 eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen dem Schleifscheiben-Antriebsmotor zugeführten Strom und der Schnitttiefe der Schleifscheibe,

Fig. 6 und 7 Teilansichten von Wegen, entlang denen Walzen durch Schleifscheiben geschliffen werden,

Fig. 8 ein Flußdiagramm einer Überspring-Steuersequenz bei einem Schleifverfahren gemäß der Erfindung,

Fig. 9 eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen dem Ausmaß einer elastischen Verformung einer Walze und dem zum Antreiben einer Schleifscheibe benötigten Antriebsstrom,

Fig. 10 eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen der Verschleißgeschwindigkeit der Schleifscheibe und dem dem Schleifscheibenantriebsmotor zugeführ-

ten Strom,

Fig. 11 ein Diagramm eines Rundschleifprozesses,

Fig. 12 ein Blockdiagramm einer Einrichtung zum Korrigieren des Betrags, um den die Walze zu Schleifen ist, abhängig von der elastischen Verformung der Walze und dem Verschleiß der Schleifscheibe,

Fig. 13 ein Flußdiagramm eines Rundschleifvorgangs mit einem voreingestellten Strom im Rahmen eines erfindungsgemäßen Schleifsteuerverfahrens, und

Fig. 14 – 16 Teilansichten einer Schleifscheibe bei Anwendung des erfindungsgemäßen Schleifsteuerverfahrens.

Im folgenden wird – wie auch oben – der Begriff "Walze" stellvertretend für Werkstücke mit rotations-symmetrischer Schleiffläche verwendet. Demnach bedeutet das Schleifen einer Walze ein Rundschleifen, insbesondere ein Außenrundschleifen.

Fig. 1 zeigt schematisch die Ausgestaltung einer Ausführungsform einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine gemäß der Erfindung. Ein spanabhebend, insbesondere durch Schleifen von der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine zu bearbeitendes Werkstück (Walze) 2 ist zwischen einem Spindelstock 4 und einem Reitstock 6 ausgerichtet mit einer sich in Z-Richtung erstreckenden Achse 8 eingespannt. Der Spindelstock 4 enthält eine Spindel, die von einem Spindelmotor 10 gedreht wird, so daß sich die Walze 2 mit vorbestimmter Drehzahl um die Achse 8 dreht.

Auf einem von einer Führung 14 geführten Gleittisch 16 ist als Schleifwerkzeug eine sich drehende Schleifscheibe 12 montiert, die sich um eine Achse 18 dreht. Der Gleittisch 16 ist entlang der Führung 14 durch einen Servomotor 20 in Z-Richtung verschieblich. Insbesondere kann der Gleittisch 16 radial zu der Walze 2 entlang einem weiteren (nicht dargestellten) Führungsmechanismus in X-Richtung verschoben werden, indem er von einem Servomotor 22 angetrieben wird. Die Schleifscheibe 12 wird von einem Schleifscheibenmotor 24 mit vorbestimmter Drehzahl um ihre eigene Achse gedreht. Ein in den Motor 14 eingespeister Antriebsstrom (Laststrom) wird von einem Detektor 26 erfaßt, der zur Schleifsteuerung zum Korrigieren der Schnitttiefe und dergleichen verwendet wird. Eine numerische Steuereinheit 30 verteilt Befehlsimpulse an Treibereinheiten 32, 34 und 36, die die Servomotoren 20 und 22, den Spindelmotor 10 und den Schleifscheibenmotor 24 ansteuern, um die Walze 2 sowie die Schleifscheibe 12 zu drehen und die Schleifscheibe 12 in Z- und X-Richtung zu bewegen, damit die Walze 2 nach Maßgabe von numerischen Steuerdaten zu einer bestimmten Form geschliffen wird.

Die numerische Steuereinheit 30 enthält einen Prozessor 38, bei dem es sich beispielsweise um einen Mikrocomputer oder dergleichen handelt, einen Speicher 40 zum Speichern eines Steuerprogramms, welches den Prozessor 38 in die Lage versetzt, eine numerische Steuerung durchzuführen, sowie zum Speichern von numerischen Steuerdaten, und einen Impulsverteiler 42, der Befehlsimpulse oder Steuerimpulse an die Treibereinheiten 32, 34 und 36 nach Maßgabe der von dem Prozessor 38 gegebenen Befehle verteilt. Das Steuerprogramm sowie numerische Steuerdaten können über eine Eingabeeinheit 46 in die numerische Steuereinheit 30 eingegeben werden. Bei 48 ist eine Anzeigeeinheit dargestellt, bei der sich zum Beispiel um den Schirm einer Katodenstrahlröhre oder dergleichen handelt. R bezeichnet eine Ziel-Schnitttiefe, C eine Netto-Schnitttiefe und S einen Radius der Walze 2, bevor diese geschliff-

fen wird.

Die oben beschriebene numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine arbeitet wie folgt:

Durch Eingeben von Formparametern in die numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine wird diese in die Lage versetzt, Walzen 2 verschiedener Umfangsformen für verschiedenste Anwendungszwecke herzustellen. Anhand des in Fig. 2 gezeigten Flußdiagramms soll nun ein Schleifvorgang erläutert werden.

Im Schritt S1 wird die Spannungsversorgung für die numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine (im folgenden NC-Maschine) eingeschaltet, und anschließend wird im Schritt S2 der Gleittisch 16, auf dem die Schleifscheibe 2 drehbar montiert ist, in eine Ausgangsstellung zurückgefahren, indem der Gleittisch in radialer Richtung (X-Achse) der Walze 2 und in axialer Richtung (Z-Achse) der Walze 2 bewegt wird. Dieser Vorgang wird unter Verwendung der Eingabeeinheit 46 durchgeführt, während der Rücklauf auf der an die numerische Steuereinheit 30 angeschlossenen Anzeigeeinheit 48 überwacht wird.

Dann werden im Schritt S3 Koordinaten der Walze 2 eingestellt, um den Bewegungsbereich des Gleittisches 16 zu bestimmen. Im anschließenden Schritt S4 werden die Form der Walze 2, die Nummer der Walze 2 und Parameter der Walze ausgewählt und eingegeben. Vorzugsweise befindet sich die numerische Steuereinheit 30 zu diesem Zeitpunkt in einer Aufbereitungsbetriebsart, und die benötigten Daten können nach mehreren Menues problemlos eingegeben werden, wobei die Menues sukzessive auf der Anzeigeeinheit 48 dargestellt werden.

Der Speicher 40 besitzt Speicherbereiche zum Speichern von Formen und Parametern mehrerer (im vorliegenden Beispiel 10) Walzen 2. Zuerst wird eine Walzennummer ausgewählt, dann wird die Walzenform ausgewählt. Zur Verfügung stehen fünf Walzenformen, darunter eine Sinusform, eine Kombination aus Sinusform, konischer Form und Bogenformen, eine Kombination aus Bogenform, konischer Form und Sinusform, eine rechtskonische Form und eine linkskonische Form. Eine dieser Walzenformen läßt sich durch eine entsprechende Codezahl bestimmen. Es ist außerdem möglich, daß die Bedienungsperson andere Walzenformen erstellt und eine solche andere Walzenform bestimmt.

Nachdem die Walzenform festgelegt ist, werden Parameter eingegeben, die für die betreffende Walzenform vorgegeben werden. Fig. 3a – 3e zeigen Walzenformen und -Parameter unterschiedlicher Walzen 2. Fig. 3a zeigt eine Walze, deren Außenumfang sinusförmig geschliffen werden soll. Der Parameter L kennzeichnet eine gewünschte Krümmungslänge, der Parameter D kennzeichnet die Krümmungstiefe, und der Parameter RL kennzeichnet eine Walzenlänge. Fig. 3b zeigt eine Walze 2, deren Außenumfang zu einer Kombination aus Sinuskurve, konischem Abschnitt und Bogenform geschliffen werden soll. Die Parameter L, D, RL sind die gleichen wie in Fig. 3a. Der Parameter L1 kennzeichnet die Länge der Sinuskurve, der Parameter L2 die Länge eines konischen Abschnitts, der Parameter A die Konizität, und der Parameter r den Krümmungsradius des Bogens. Fig. 3c zeigt eine Walze 2, deren Außenumfang zu einer Kombination aus Bogen, konischem Teil und Sinuskurve geschliffen werden soll. Die dargestellten Parameter sind die gleichen wie in Fig. 3b. Fig. 3d zeigt eine Walze 2, die rechtskonisch geschliffen werden soll. Der Parameter RL bedeutet eine Walzenlänge, der Parameter L eine vorgegebene

Formlänge, und der Parameter  $A$  die Konizität. Fig. 3e zeigt eine Walze 2, deren Außenumfang linkskonisch geschliffen werden soll. Die Parameter sind die gleichen wie in Fig. 3d.

Diese Parameter sowie Rollennummern und Rollenformen können über eine Tastatur der Eingabeeinheit 46 eingegeben werden. Die eingegebenen Rollenzahlen, Rollenformen und -parameter werden in dem Speicher 40 in gegenseitiger Beziehung zueinander gespeichert.

Fig. 4 ist eine Speicherübersicht des Inhalts des Speichers 40, in dem die Walzenformen und Parameter gespeichert werden.  $P1$  bezeichnet Koordinaten des linken Walzenendes,  $P2$  Koordinaten der Walzenmitte und  $P3$  Koordinaten des rechten Walzenendes. Der Speicherbereich Nummer 1 speichert die Walzenform und Parameter für die Walze Nummer 1. Die gespeicherte Walzenform ist eine der Codezahlen, welche die Walzenformen gemäß Fig. 3a–3e kennzeichnen, und die gespeicherten Parameter entsprechen der gespeicherten Walzenform. Die Speicherbereiche 2 bis 10 speichern Walzenformen und Parameter für die Walzennummer 2 bis 10.

Nachdem die Walzenzahl, die Walzenform und die Parameter im Schritt 4 eingegeben worden sind, werden in einem Schritt  $S5$  nach Maßgabe einer vorbestimmten Formel, die der festgelegten Walzenform entspricht, Punktmengendaten berechnet, die numerische Steuerdaten (ein Bearbeitungsprogramm) darstellen. Handelt es sich bei der Walzenform beispielsweise um die in Fig. 3a dargestellte Sinusform, so beträgt die Schnitttiefe  $X$ , bis zu der die Walze 2 von der Schleifscheibe 12 in radialer Richtung geschliffen werden muß:

$$X = \frac{D/2}{1 - \cos \theta} \left[ \cos \frac{2Z - L}{L} \theta - \cos \theta \right]$$

Wobei  $0 \leq Z \leq L$ ;  $Z$  die axiale Position der Walze 2 und  $\theta$  ein Parameter ist, der kennzeichnend ist für die Werkzeugmaschine und bestimmt wird durch beispielsweise die Krümmung der Sinuskurve. Die Punktmengendaten, die nach der obigen Formel berechnet werden, werden anschließend im Speicher 40 in Beziehung zu der Walzennummer und der Walzenform gespeichert.

Nachdem die die numerischen Steuerdaten bildenden Punktmengendaten berechnet und in dem Speicher 40 in einem vorbestimmten Bereich abgespeichert wurden, werden die gespeicherten Punktmengendaten in einem Schritt 6 sukzessive ausgelesen, und die Bewegung der Schleifscheibe 12 in axialer Richtung ( $Z$ -Achse) und radialer Richtung ( $X$ -Achse) wird auf der Grundlage der Punktmengendaten zum Schleifen der Walze 2 zu einer gewünschten gewölbten Kurve gesteuert. Nachdem die Walze 2 in einem Schritt  $S7$  über ihre gesamte Länge geschliffen ist, wird in einem anschließenden Schritt  $SS$  geprüft, ob ein Befehl zum Schleifen einer weiteren Walze vorliegt. Falls ja, werden die oben erläuterten Schritte  $S3$  bis  $S7$  wiederholt. Falls kein derartiger Befehl vorliegt, wird die Spannungsversorgung für die NC-Maschine abgeschaltet, und der Schleifvorgang ist beendet.

Zum effizienten und sehr genauen Schleifen einer Walze 2 mit Hilfe einer NC-Maschine wie beispielsweise einer NC-Rundschleifmaschine, ist es nötig, die Walze 2 zu Schleifen, während Verschleiß der Schleifscheibe 12, lokaler Verschleiß der Walze 2 durch langen Ge-

brauch oder eine elastische Verformung der Walze 2 berücksichtigt wird.

Im folgenden sollen verschiedene Bearbeitungsfunktionen der NC-Maschine erläutert werden.

Fig. 5 zeigt die Beziehung zwischen der in den zum Drehen der Schleifscheibe 2 in den Schleifscheibenmotor 24 eingespeisten Antriebsstrom  $I$  und dem Bewegungshub der Schleifscheibe 12 in radialer Richtung der Walze 2, d.h. der Schnitttiefe  $C$ . Der Antriebsstrom  $I$  und die Schnitttiefe  $C$  stehen miteinander durch die Funktion  $I = hC$  in Beziehung, wie weiter unten noch näher erläutert wird.

Während sich der Schleifscheibenmotor 24 mit vorbestimmter Drehzahl dreht, ist das durch den Schleifscheibenmotor 24 erzeugte Drehmoment  $\tau$  proportional zu der zwischen Schleifscheibe 12 und der Walze 2 erzeugten Reibungskraft  $\Theta$ . In einem Bereich, in welchem die Schnitttiefe  $C$  nicht besonders groß ist, ist die Reibungskraft  $\Theta$  proportional zu der Schnitttiefe  $C$ , und zwar monoton steigend. Es gilt also

$$\tau \propto \Theta \propto C,$$

oder

$$\tau \propto \Theta = h(C)$$

wobei  $h(c)$  eine monoton steigende Funktion ist. Wenn es sich bei dem Schleifscheibenmotor 24 um einen Gleichstrommotor handelt, ist das erzeugte Drehmoment  $\tau$  proportional zum Antriebsstrom  $I$ . Es gilt also

$$I \propto \tau$$

Aus der oben angegebenen Beziehung gemäß den Formeln (1) und (2) erhält man also eine einfache proportionale Beziehung oder eine monoton steigende Beziehung in folgender Form:

$$I = h(C)$$

zwischen der Schnitttiefe  $C$  und dem Antriebsstrom  $I$ .

Die Schnitttiefe  $C$  der Schleifscheibe 12 läßt sich also aus der Stärke des Antriebsstroms  $I$  bestimmen. Selbst wenn der Schleifscheibenmotor 24 ein Wechselstrommotor ist, zum Beispiel ein Induktionsmotor, ist es möglich, aus dem Antriebsstrom  $I$  das erzeugte Drehmoment  $\tau$  zu bestimmen und somit läßt sich im Grunde genommen die Schnitttiefe  $C$  aus dem Antriebsstrom  $I$  in der gleichen Weise bestimmen wie bei einem Gleichstrommotor eines Schleifscheibenmotors 24.

Der in den Schleifscheibenmotor 24 eingespeiste Antriebsstrom  $I$  wird von dem Detektor 26 erfaßt, und die Bewegung der Schleifscheibe 12 in radialer Richtung ( $X$ -Achse) der Walze 2 wird von dem Prozessor 38 derart gesteuert, daß die Walze 2 bis zu einer Schnitttiefe geschliffen werden kann, die einem voreingestellten Strom entspricht, um die Walze 2 zu schleifen, während sich die Schleifscheibe 12 in axialer Richtung der Walze 2 bewegt. Fällt der Antriebsstrom  $I$  unter einen voreingestellten Stromwert ab, wird die Schleifscheibe 12 in radialer Richtung ( $X$ -Achse) der Walze 2 bewegt, um in die Walze 2 einzuschneiden, bis der voreingestellte Stromwert erreicht ist. Nach dem Erreichen des voreingestellten Stroms wird die Bewegung der Schleifscheibe 12 in axialer Richtung umgekehrt, und die Walze 2 wird bis zu ihrem stirnseitigen Kragen geschliffen. Durch einen solchen Schleifvorgang läßt sich die durch längeren



Gebrauch lokal abgenutzte Walze 2 automatisch an einem weniger abgenutzten Abschnitt schleifen, ohne daß numerische Steuerdaten abhängig von Oberflächenunregelmäßigkeiten oder Verschleißstellen verschiedener Walzen 2 erstellt werden müssen. Die Walze 2 läßt sich also effizient gleichförmig bis zu dem am meisten abgenutzten Bereich der Walze abschleifen.

Fig. 6 und 7 zeigen Bewegungswege der Schleifscheibe 12 beim sogenannten Abdrehen von Walzen 2. Sowohl in Fig. 6 als auch in Fig. 7 ist die zu schleifende Walze 2 fest zwischen Spindelstock 4 und Reitstock 6 eingespannt und wird mit vorgegebener Drehzahl des Spindelmotors 10 gemäß Fig. 1 gedreht.

Fig. 6 zeigt eine Walze 2, die in einem mittleren Bereich stärker abgenutzt ist als an den beiden Enden. Die Schleifscheibe 12 beginnt mit dem Schleifen der Walze 2 an Punkten  $P_1$  und  $P_3$  an den Enden oder Kragen der Walze 2. Die Schnitttiefe  $C$  der Schleifscheibe 12 in radialer Richtung der Walze 2 ist im Speicher 40 der numerischen Steuereinheit 30 als voreingestellter Stromwert eingestellt, wobei es sich um einen Schwellenwert handelt, der verglichen wird mit dem in den Schleifscheibenmotor 24 eingespeisten Antriebsstrom, d.h. mit dem von dem Detektor 26 erfaßten Strom. Fig. 7 zeigt einen Abdrehvorgang zum Bearbeiten einer konvexen Kronwalze mit gekrümmter Außenform, wobei die Walze zu einer konkaven Kronwalze geschliffen werden soll. Die Schleifscheibe 12 beginnt mit dem Schleifvorgang der Walze 12 an einem mittleren Punkt  $P_2$ , bei dem das Ausmaß des Verschleißes gering ist.

Bei dem Abdrehvorgang bewegt sich die Schleifscheibe 12 von dem Startpunkt  $P_1$  oder  $P_3$  (Fig. 6) oder dem Startpunkt  $P_2$  (Fig. 7) aus in axialer Richtung der Walze 2, während die Schleifscheibe radial in die Walze 2 einschneidet. Vor dem Schleifvorgang wird die Schleifscheibe 12 in radialer Richtung ( $X$ -Achse) der Walze 2 bewegt, und wenn die Schleifscheibe 12 mit der Walze 2 in Berührung gelangt, ändert sich der in den Schleifscheibenmotor 24 eingespeiste Strom. Durch Erfassen des in den Motor 24 eingespeisten Stroms und durch Vergleichen des erfaßten Stroms mit einem voreingestellten Schwellenwert läßt sich also bestimmen, ob die Schleifscheibe 10 die Walze 2 berührt hat oder nicht. Nach der Berührung zwischen Schleifscheibe 12 und Walze 2 wird die Ausführung eines Bearbeitungsprogramms, gemäß welchem die Schleifscheibe 12 in Richtung auf die Walze 2 bewegt wird, unterbrochen, und es wird ein anderes Bearbeitungsprogramm ausgeführt. Das Ausmaß der Radialbewegung der Schleifscheibe 12, welches in einem Schritt des unterbrochenen Programms festgelegt ist, wird gelöscht.

Anschließend wird auf der Grundlage des nächsten Programms die Schleifscheibe 12 in axialer Richtung ( $Z$ -Achse) der Walze 2 zum Schleifen der Walze bewegt. Wenn die Schleifscheibe 12 einen weniger abgenutzten Bereich der Walze 2 erreicht, verringert sich der in den Schleifscheibenmotor 24 fließende Strom. Daraufhin wird die Bewegungsrichtung der Schleifscheibe 12 entlang der Achse der Walze 2 umgekehrt, um den Schleifvorgang in der entgegengesetzten Richtung fortzusetzen. Deshalb kann die Walze 2 wirksam abgedreht oder geschliffen werden, ohne daß die Form jeder abzdrehenden Walze gemessen und ein Bearbeitungsprogramm für eine solche Walze erstellt werden muß.

Fig. 8 zeigt eine Sprung-Steuersequenz zum Umschalten von radialer Bewegung der Schleifscheibe 12 auf axiale Bewegung der Schleifscheibe während des Schleifvorgangs.

In einem Schritt  $S_{11}$  wird der Wert eines Ziel- oder Sollstroms (voreingestellter Strom) für den Schleifscheibenmotor 24 als Vorgabewert eingegeben, um einen Abdrehvorgang oder einen Bearbeitungsbefehl (ein Bearbeitungsprogramm), beispielsweise ein Schleifscheiben-Berührbefehl, auszuführen. Der Detektor 26 überwacht den Schritt  $S_{12}$  den in den Schleifscheibenmotor 24 eingespeisten Antriebsstrom, und der von dem Detektor 26 ermittelte Antriebsstrom wird im Schritt  $S_{13}$  von dem Prozessor 26 verglichen mit dem Sollstromwert. Wenn der erfaßte Strom im Schritt  $S_{13}$  den Wert des Sollstroms erreicht hat, wird das dann ausgeführte Bearbeitungsprogramm unterbrochen, und im Schritt  $S_{14}$  wird ein Fertig-Status eingestellt, woraufhin der verbleibende Bewegungsweg für die Schleifscheibe 12 gelöscht wird. Dann wird ein Folgeprogramm ausgeführt, um die Schleifscheibe 12 beispielsweise in axialer Richtung der Walze 2 zu bewegen.

Wenn der erfaßte Strom im Schritt  $S_{13}$  noch nicht den Sollwert erreicht hat, wird in einem Schritt  $S_{15}$  geprüft, ob die Achsen-Sollverteilung bereits beendet ist oder nicht. Falls ja, wird ein Fehlerzustand deklariert, und im Schritt  $S_{16}$  wird ein Fehlerstatus gesetzt. Falls die Achse-Sollverteilung noch nicht fertig ist, wird im Schritt  $S_{17}$  ein Solldrehzahlwert ausgegeben, und der Bearbeitungsvorgang wird vom Schritt  $S_{12}$  an wiederholt.

Im folgenden soll eine Korrekturfunktion beschrieben werden, die die NC-Maschine gemäß der Erfindung zum Korrigieren des Schleifhubs aufweist.

Fig. 9 zeigt die Beziehung zwischen dem Ausmaß der elastischen Verformung  $E$  der zu schleifenden Walze 2 und dem Wert des in den Schleifscheibenantriebsmotor 24 eingespeisten Antriebsstroms  $I$ . Die Walze 2 wird beim Schleifvorgang elastisch verformt, und zwar hauptsächlich durch die Kraft, mit der die Schleifscheibe 12 gegen die Walze gedrückt wird. Je stärker der in den Schleifscheibenmotor 24 eingespeiste Antriebsstrom  $I$  ist, desto größer ist das vom Motor 24 erzeugte Drehmoment, und desto größer ist die Kraft, mit der die Schleifscheibe 12 gegen die Walze 2 drückt. Deshalb wird die Walze 2 elastisch proportional zu dem in den Motor 24 eingespeisten Antriebsstrom  $I$  verformt. Das Ausmaß dieser elastischen Verformung  $E$  der Walze 2 ist eine monoton ansteigende Funktion:

$$E = f(I)$$

Fig. 10 zeigt die Beziehung zwischen der Verschleißgeschwindigkeit der Schleifscheibe 12 und dem Wert des in dem Schleifscheibenmotor 24 eingespeisten Antriebsstroms  $I$ . Verschleiß der Schleifscheibe 12 ist bedingt durch die Reibung zwischen Schleifscheibe 12 und Walze 2. Wie oben erwähnt, ist die zwischen der Schleifscheibe 12 und der Walze 2 erzeugte Reibungskraft  $\Theta$  proportional zu dem von dem Schleifscheibenmotor 24 erzeugten Drehmoment  $\tau$ , und das Drehmoment  $\tau$  wiederum ist proportional zu dem in den Motor 24 eingespeisten Antriebsstrom  $I$ . Folglich ist das Ausmaß des Verschleißes  $W$  der Schleifscheibe 12 auch eine Funktion des Antriebsstroms  $I$  des Motors 24. Das Ausmaß des Verschleißes  $W$  der Schleifscheibe 12 steht in Beziehung zu der Zeit, in welcher die Schleifscheibe 12 und die Walze 2 gegeneinandergedreht werden. Die Verschleißgeschwindigkeit  $\Delta W$  der Schleifscheibe 12 (d.h.: die Geschwindigkeit, mit der die Schleifscheibe 12 von einem Zeitpunkt  $t$  bis zu einem Zeitpunkt  $t + \Delta t$  verschliffen wird, wird durch folgende Funktion ausge-



drückt:

$$\Delta W = g(I)$$

Deshalb ist das Ausmaß des Verschleißes der Schleifscheibe 12 das Integral der Verschleißgeschwindigkeit  $\Delta W$  über die Zeit:

$$W = \int_0^t \Delta W \, dt = \int_0^t g(I) \, dt$$

Fig. 11 zeigt einen Rundscheifprozeß, der die oben erläuterten Betrachtungen in Rechnung stellt. Wenn man annimmt, daß die Walze 2 vor dem Schleifen einen Radius  $S$  hat und ihre Ziel-Schnitttiefe  $R$  beträgt, (siehe Fig. 1), so ist die Netto-Schnitttiefe  $C$  die gleiche wie die Ziel-Schnitttiefe  $R$ , falls es keine elastische Verformung der Walze 2 gäbe und die Schleifscheibe 12 keinem Verschleiß unterläge. Damit würde gelten:

$$S - R = S - C$$

Da jedoch die Netto-Schnitttiefe  $C$  tatsächlich verringert wird durch das Ausmaß der elastischen Verformung  $E$  der Walze 2 und das Ausmaß des Verschleißes  $W$  der Schleifscheibe 12, erhält man:

$$S - R = S - C + E + W,$$

und es ist unmöglich, die Walze 2 zu der gewünschten Form zu schleifen.

Das Ausmaß der elastischen Verformung  $E$  der Walze 2 ist proportional zu dem in den Schleifscheibenmotor 24 eingespeisten Antriebsstrom  $I$  (siehe Fig. 9), und die Verschleißgeschwindigkeit  $\Delta W$  der Schleifscheibe 12 ist eine Funktion des in den Motor 24 eingespeisten Stroms  $I$  (siehe Fig. 10). Das Ausmaß des Verschleißes  $W$  wird entsprechend der Gleichung (6) bestimmt als ein zeitliches Integral der Verschleißgeschwindigkeit  $\Delta W$ . Unter der Annahme, daß die Summe des Ausmaßes der elastischen Verformung  $E$  der Walze 2 und des Ausmaßes des Verschleißes  $W$  der Schleifscheibe 12 einen Fehler  $D$  darstellt, läßt sich die Walze 2 zu der gewünschten Form schleifen, indem man den Fehler  $D = E + W$  berechnet, der beim Rundscheifprozeß 50 in Fig. 11 erzeugt wird, und um den die Netto-Schnitttiefe  $C$  kleiner ist als die Ziel-Schnitttiefe  $R$ , und indem man die Ziel-Schnitttiefe  $R$  um den Fehler  $D$  korrigiert.

Wie oben in Verbindung mit den Fig. 5, 9 und 10 erläutert wurde, stehen die Schnitttiefe  $C$ , das Ausmaß der elastischen Verformung  $E$  und das Ausmaß des Verschleißes  $W$  in einer gewissen Beziehung zu dem in den Motor 24 eingespeisten Antriebsstrom  $I$ . Im Hinblick darauf wird die Stärke des Laststroms (der Wert des Antriebsstroms)  $Im$ , der in den Schleifscheibenmotor 24 eingespeist wird, von dem in Fig. 1 gezeigten Detektor 26 erfaßt, und das Ausmaß der elastischen Verformung  $E$  sowie das Ausmaß des Verschleißes  $W$  werden von dem Prozessor 38 in der numerischen Steuereinheit 30 berechnet, und die Ziel-Schnitttiefe  $R$  wird korrigiert durch das Ausmaß der elastischen Verformung  $E$  und das Ausmaß des Verschleißes  $W$ , um die Abtragmenge oder Schleifmenge der Walze 2 automatisch zu korrigieren.

Fig. 12 ist ein Blockdiagramm einer Einrichtung zum

Korrigieren des Schleifhubs beim Schleifen der Walze 2. Beim Rundscheifprozeß zum Schleifen der Walze reduziert sich die Schnitttiefe  $C$  aufgrund des Verschleißes der Schleifscheibe 12 und der elastischen Verformung der Walze 2. Die Einrichtung enthält eine Korrekturereinrichtung für elastische Verformung, 52, eine Verschleißkorrekturereinrichtung 54 und einen Schleifregler 56 des Prozessors 38 in der numerischen Steuereinheit 30.

Numerische Steuerdaten (die Bewegungshübe in axialer und radialer Richtung der Walze 2 darstellen) für die Schleifscheibe 12 werden als Befehle gegeben, und auf der Grundlage der gegebenen Befehle wird ein Sollstromwert  $Is$  für den Schleifscheibenmotor 24 eingestellt. Der in den Motor 24 eingespeiste Ist-Strom wird als Laststrom  $Im$  von dem Detektor 26 in Fig. 1 erfaßt.

Die Korrekturereinrichtung für elastische Verformung, 52, berechnet das Ausmaß der elastischen Verformung  $E$  aus dem Sollstrom  $Is$  und dem Ist-Laststrom  $Im$  wie folgt:

$$E = f(Im) = k \cdot \Delta I$$

wobei  $k$  ein Verformungs-Korrekturkoeffizient für die Werkzeugmaschine und  $\Delta I$  die Differenz zwischen dem Sollstrom  $Is$  und dem Iststrom  $Im$  ist. Unter Berücksichtigung einer Totzone  $\delta$ , bei der es sich um einen Systemparameter der NC-Maschine handelt, bestimmt sich  $\Delta I$  wie folgt:

$$\Delta I = Is - Im - \delta$$

$$Im - Is < \delta;$$

wobei

$$\Delta I = 0$$

$$\text{wobei } -\delta \leq Im - Is \leq \delta;$$

$$\Delta I = Is - Im + \delta$$

$$\text{wobei } \delta < Im - Is.$$

Das so berechnete Ausmaß der elastischen Verformung  $E$  wird auf die Ziel-Schnitttiefe  $R$  addiert. In ähnlicher Weise berechnet die Verschleißkorrekturereinrichtung 24 das Ausmaß des Verschleißes  $W$  aus dem Sollstrom  $Is$  und dem Laststrom  $Im$  wie folgt:

$$\Delta W = g(Im) = q \cdot Is \cdot Im$$

wobei  $q$  ein Verschleißkorrekturkoeffizient der Werkzeugmaschine ist. Die Verschleißgeschwindigkeit  $\Delta W$  ist eine Schnitttiefe pro Zeiteinheit und entspricht der Geschwindigkeit  $V$  mit der die Schleifscheibe 12 in die Walze 2 radial einschneidet. Da die Walze 2 von der Schleifscheibe 12 mit der Geschwindigkeit  $V$  geschliffen wird, ist der Bewegungshub der Schleifscheibe 12 in radialer Richtung ein Integral der Geschwindigkeit, und das Ausmaß des Verschleißes  $W$  wird auf die Ziel-Schnitttiefe  $R$  addiert. Als Resultat wird die Schnitttiefe, korrigiert, um das Ausmaß der elastischen Verformung  $E$  der Walze 2 und das Ausmaß des Verschleißes  $W$  der Schleifscheibe 12, als Sollwert an den Rundscheifprozeß 50 gegeben, so daß die Walze 2 zu der gewünschten Form geschliffen werden kann.

Der Sollstromwert  $Is$ , der Verformungskorrekturkoeffizient  $k$  und der Verschleißkorrekturkoeffizient  $q$

können gemeinsam in Form von Befehlscodes in dem numerischen Steuerprogramm eingestellt werden, oder die Werte können als Parameter über die Eingabeeinheit 46 eingegeben werden, die an die numerische Steuereinheit 20 angeschlossen ist, so daß die Werte in dem Speicher 40 abgespeichert werden.

Der Verschleißkorrekturkoeffizient  $q$  ist möglicherweise nicht konstant, da das Ausmaß des Verschleißes  $W$  der Schleifscheibe 12 während des Schleifvorgangs zeitlich schwankt. Das Ausmaß des Verschleißes  $W$  bestimmt sich abhängig von der Drehzahl der Schleifscheibe 12, der Schnitttiefe, der Geschwindigkeit, mit der die Schleifscheibe in axialer Richtung verschoben wird, der Form und dem Material der Walze 2 und anderen Faktoren, und der Wert wird üblicherweise für die betreffende Werkzeugmaschine empirisch ermittelt. Wenn allerdings das Schleifvermögen der Schleifscheibe 12 durch starke Belastung oder durch Ablösen der Oberflächenschicht der Schleifscheibe 12 verringert ist, reicht der oben erläuterte Verschleißkorrekturvorgang nicht aus, um die Schnitttiefe genügend zu korrigieren.

Um dieses Problem zu lösen, wird der Verschleißkorrekturkoeffizient  $q$  in Erfahrung gebracht und korrigiert auf der Grundlage eines Zeitintervalls  $T$ , in welchem eine Verschleißkorrektur erfolgt, sowie der Differenz  $\Delta I$  zwischen dem Sollwert  $I_s$  und dem in den Motor 24 eingespeisten Laststrom  $I_m$ .

In das Bearbeitungsprogramm wird ein "Verschleißkoeffizient-Lernbefehl" eingefügt, und der Koeffizient  $q$  wird berechnet und korrigiert in einem vorbestimmten Zeitintervall. Dies geschieht in der in Fig. 12 gezeigten Verschleißkorrektureinrichtung 54 auf der Grundlage folgender Beziehung:

$$q(\text{neu}) = q(\text{alt}) + \alpha \times \frac{\Delta I}{T}$$

wobei  $\alpha$  ein Lernkoeffizient ist, bei dem es sich um einen der Werkzeugmaschine eigenen Parameter handelt, und  $q(\text{neu})$  und  $q(\text{alt})$  ein momentaner bzw. ein vorausgehender Verschleißkorrekturkoeffizient ist. Die Differenz  $\Delta I$  zwischen den Strömen wird gemäß Gleichungen (8) bis (10) berechnet, wobei die Totzone  $\delta$  berücksichtigt wird. Wenn der Sollstrom  $I_s$  und der Laststrom  $I_m$  innerhalb der Totzone  $\delta$  liegen, bleibt der Verschleißkorrekturkoeffizient  $q(\text{neu})$  unverändert. Wenn der Sollstrom  $I_s$  und der Laststrom  $I_m$  die Totzone  $\delta$  überschreiten, ändert sich der Verschleißkorrekturkoeffizient  $q(\text{neu})$  proportional zu dem Betrag, um den der Sollstrom  $I_s$  und der Laststrom  $I_m$  die Totzone  $\delta$  überschreiten. Zu der Zeit, in der die Schnitttiefe  $C$  entsprechend dem Iststrom  $I_m$  stark schwankt wird also der Verschleißkorrekturkoeffizient  $q$  automatisch korrigiert, da das Ausmaß des Verschleißes oder das Schleifvermögen der Schleifscheibe 12 sich ändert. Demzufolge läßt sich die Walze 2 ungeachtet der Art und Weise, wie der Zustand der Schleifscheibe 12 variiert, mit hoher Genauigkeit schleifen.

Die erfindungsgemäße NC-Werkzeugmaschine besitzt eine Funktion, nach welcher die Schleifscheibe 12 in der Lage ist, auf der Grundlage eines voreingestellten Stroms bis zu einer gegebenen Schnitttiefe in die Walze 2 einzuschneiden. Der Laststrom  $I_m$  des Schleifscheibenmotors 24 wird von dem Detektor 26 erfaßt, der erfaßte Laststrom  $I_m$  wird im Prozessor 38 verglichen mit einem voreingestellten Sollstrom  $I_s$ , und die Schleifscheibe 12 schneidet radial in die Walze 2 mit vorbe-

stimmter Geschwindigkeit ein, bis der Laststrom  $I_m$  des Motors 24 den Sollstrom  $I_s$  erreicht, um dadurch die Walze 2 bis zu einer vorbestimmten Schnitttiefe abzuschleifen. Der in Fig. 12 gezeigte Schleifregler vergleicht den von dem Detektor 26 erfaßten Laststrom  $I_m$  mit dem Sollstrom  $I_s$  und steuert den Servomotor 22 so, daß die Schleifscheibe 12 abhängig von der Differenz zwischen den Strömen mit vorbestimmter Geschwindigkeit so radial in die Walze 2 einschneidet, daß die gewünschte Schnitttiefe  $C$  erhalten wird. Der Schleifregler 56 arbeitet, wenn ein Befehl zum Schleifen der Walze 2 auf der Grundlage des Sollstroms in dem Bearbeitungsprogramm enthalten ist. Wenn die Befehle zu Korrektur der elastischen Verformung und des Verschleißes im selben Programmblock enthalten sind wie der Befehl zum Schleifen der Walze 2 auf der Grundlage des Sollstroms, werden diese Befehle für die Korrektur der elastischen Verformung und des Verschleißes nicht berücksichtigt.

Fig. 13 veranschaulicht die Funktion, gemäß der die Schleifscheibe 12 in die Lage versetzt wird, auf der Grundlage des voreingestellten Stroms in die Walze 2 einzuschneiden. Zunächst werden als Befehle zum Steuern der Schleifscheibe 12 numerische Steuerdaten gegeben (die Bewegungshübe der Schleifscheibe 12 in axialer und radialer Richtung der Walze 2, der Sollstrom  $I_s$  für den Schleifscheibenmotor 24, etc.), und die Walze 2 wird auf der Grundlage dieser Befehle im Schritt S21 geschliffen. Der Sollstrom  $I_s$  kann in dem Bearbeitungsprogramm vorgegeben sein oder kann über die Parametereinstellfunktion der Eingabeeinheit 46 eingegeben werden, beispielsweise über eine Tastatur in Verbindung mit der Anzeigeeinheit 48 (diese ist zum Beispiel eine Katodenstrahlröhre), so daß die eingegebenen Werte im Speicher 40 gespeichert werden.

Wenn der Sollstrom  $I_s$  eingestellt ist und auf der Grundlage des Sollstroms  $I_s$  ein Befehl zum Schleifen der Walze 2 gegeben wird, wird der Schleifregler 56 betätigt, um den in den Motor 24 eingespeisten Laststrom und den Sollstrom  $I_s$  zu vergleichen (Schritt 22). Wenn der Laststrom  $I_m$  kleiner ist als der Sollstrom  $I_s$ , wird die Schleifscheibe 12 angetrieben, um mit folgender Geschwindigkeit  $V$  in die Walze 2 einzuschneiden:

$$V = - \left[ \frac{b}{a} I_s + C \right]$$

wobei  $a$ ,  $b$  und  $c$  für die Werkzeugmaschine typische Systemparameter sind. Dies geschieht in den Schritten S23a, S24a, S25a und S26a. Ist der Laststrom  $I_m$  größer als der Sollstrom  $I_s$ , wird die Schleifscheibe 12 mit folgender Geschwindigkeit  $V$  von der Walze 2 fortbewegt:

$$V = \frac{b}{a} I_s + c$$

Dies geschieht in den Schritten S23b, S24b, S25b und S26b. Wenn der Laststrom  $I_m$  den Sollstrom  $I_s$  erreicht, wird der Befehl zum Schleifen der Walze 2 auf der Grundlage des Sollstroms im Schritt 27 gelöscht, und die Schleifscheibe 12 wird lediglich in axialer Richtung ( $Z$ -Achse) der Walze 2 bewegt (Schritt 28). Dann erreicht die Schleifscheibe 12 eine gegebene Position in Richtung der  $Z$ -Achse, woraufhin die Bewegung der Schleifscheibe 12 entlang der  $Z$ -Achse beendet wird.

(Schritt 29). Die Walze 2 ist somit bis auf eine vorbestimmte Schnitttiefe durch die Schleifscheibe 12 geschliffen.

Im folgenden werden Schleifbetriebsarten entsprechend den dargestellten Ausführungsformen auf der Grundlage der oben erläuterten verschiedenen Funktionen in Kombination miteinander erläutert. Die Schleifbetriebsarten umfassen zum Beispiel ein Querschleifen zum Schleifen einer Walze, während einer adaptiven Steuerung durch Korrigieren des Verschleißes der Schleifscheibe und außerdem durch Korrigieren der elastischen Verformung der Walze erfolgt, ein Querschleifen, bei dem eine Zwischen-Schneidgeschwindigkeit spezifiziert wird, und ein Querschleifen, bei welchem in die Walze an deren Enden eingeschnitten wird. Für diese drei Querschleifbetriebsarten werden spezielle Befehlscodes (besondere Befehle) festgelegt. Auf der Grundlage verschiedener Parameter, die zusammen mit einem ausgewählten Befehlscode gegeben werden, werden Befehle zum Ausführen der oben angegebenen verschiedenen Schleiffunktionen freigegeben, um die entsprechende Querschleifbetriebsart zu erhalten.

Fig. 14 zeigt einen Bewegungsweg der Schleifscheibe 12 in der Querschleifbetriebsart mit adaptiver Steuerung. In dieser Querschleifbetriebsart wird ein Code gegeben, welcher einen der Betriebsart entsprechenden speziellen Befehl repräsentiert. Außerdem werden Parameter gegeben, welche einen Sollstrom  $I_s$  für den Schleifscheibenmotor 24, Schleifendpunkte  $P1$  bis  $P3$  (siehe Fig. 6), die Anzahl  $N$  von Querbewegungen, eine Verweilzeit  $t$ , während der sich die Schleifscheibe an einem Ende der Walze 2 aufhält, und die Geschwindigkeit  $F$ , mit der die Schleifscheibe 12 vorgeschoben wird, kennzeichnen. Ansprechend auf den speziellen Befehlscode werden die Verschleißkorrekturfunktion und die Verformungskorrekturfunktion freigegeben, so daß die Walze in der gleichen Weise geschliffen wird, als ob Befehlscodes für die individuellen Korrekturfunktionen vorhanden wären.

Wie Fig. 14 zeigt, schleift die Schleifscheibe 12 die Walze 2, während sie sich in axialer Richtung der Walze 2 bewegt. In einer Zone (1) bewegt sich die Schleifscheibe 12 entlang einer Bahn, die durch die Anfangseinstellung der Walze 2 definiert wird. In einer Zone (2) schneidet die Schleifscheibe 12, während sie sich in axialer Richtung (Z-Achse) der Walze 2 bewegt, in die Walze 2 radial (X-Achse) ein, bis der Laststrom  $I_m$ , der in den Schleifscheibenmotor 24 eingespeist wird, den Sollstrom  $I_s$  erreicht. Dann schleift die Schleifscheibe 12 in einer Zone (3) die Walze 2, indem sie in axialer Richtung traversiert, wobei die Verschleißkorrektur und die Verformungskorrektur erfolgen. In einer Zone (4) wird der Verschleißkorrekturkoeffizient  $q$  auf der Grundlage des Zeitintervalls, in welchen die Verschleißkorrektur soweit durchgeführt wurde, und der Differenz zwischen dem Sollstrom  $I_s$  und dem Laststrom  $I_m$  des Schleifscheibenmotors 24 variiert, um eine Anpassung an das Ausmaß des Verschleißes der Schleifscheibe 12 zu schaffen, welches mit dem zeitlich fortschreitenden Schleifvorgang variiert. In einer Zone (5) wird unter Verwendung des geänderten Verschleißkorrekturkoeffizienten  $q$  die Schleifscheibe 12 zu einem querliegenden Endpunkt bewegt, während die Schleifkorrektur und die Verformungskorrektur wie in der Zone (3) durchgeführt werden. In einer Zone (6) bewegt sich die Schleifscheibe 12 entlang der Walzenform, die durch die Anfangseinstellung definiert ist. Dann verweilt die Schleifscheibe 12 für eine festgelegte Verweilzeit  $t$  in einer Zone (7). An-

schließend werden die Bewegungen zur Durchführung des Querschleifens entsprechend den Zonen (1) bis (6) und (7) für  $N$  Querbewegungen wiederholt.

Fig. 15 zeigt den Bewegungsweg der Schleifscheibe 12 beim Querschleifbetrieb, wobei eine mittlere Schneidgeschwindigkeit festgelegt ist. In dieser Querschleifbetriebsart sind ebenfalls ein für einen speziellen Befehl kennzeichnender Code sowie Parameter gegeben, welche einen Sollstrom  $I_s$ , Startpunkte  $P1$  bis  $P3$ , die Anzahl  $N$  von Querbewegungen, eine Verweilzeit  $t$ , eine Vorschubgeschwindigkeit  $f$  und eine mittlere Schneidgeschwindigkeit  $V$  repräsentieren. Bei diesem Querschleifbetrieb schneidet die Schleifscheibe 12 mit der festgelegten Schleifgeschwindigkeit  $V$  radial (X-Achse) in die Walze ein, bis der Sollstrom  $I_s$  erreicht ist, bevor ein seitlicher Endpunkt erreicht wird. Die Schleifscheibe 12 folgt dem in Fig. 15 durch Pfeile angedeuteten Weg. Das Werkstück 2 wird in einer rotations-symmetrischen Walzenform gebracht, indem es entlang einer definierten Kontur bis hinab zu einem am meisten verschlissenen Bereich geschliffen wird, bevor der eigentliche Schleifvorgang beginnt. In der Querschleifbetriebsart wird nur die Funktion des Schleifens der Walze 2 auf der Grundlage des voreingestellten Stroms durchgeführt, während die adaptiven Steuerfunktionen, wie beispielsweise die Verschleißkorrektur und die Verformungskorrektur, nicht durchgeführt werden.

Fig. 16 zeigt den Bewegungsweg der Schleifscheibe 12 in einer Querschleifbetriebsart, in welcher die Schleifscheibe 12 an den beiden Enden der Walze in diese einschneidet. Bei dieser Querschleifbetriebsart sind ein Code, der den entsprechenden, speziellen Befehl kennzeichnet, sowie Parameter gegeben, die kennzeichnend sind für die Startpunkte  $P1$  bis  $P3$ , die Anzahl  $N$  von Querbewegungen, eine Verweilzeit  $t$ , eine Vorschubgeschwindigkeit  $F$ , ein Maß der elastischen Verformung  $E$  an den Endpunkten und eine Schneidgeschwindigkeit  $V$  an den Endpunkten. Bei dieser Querschleifbetriebsart beginnt, wie durch Pfeile in Fig. 16 angedeutet, die Schleifscheibe 12 von den jeweiligen Positionen aus in entgegengesetzte Richtungen zu traversieren und schneidet an den entgegengesetzten Enden in die Walze 2 ein. Dies geschieht mit  $N$  Querbewegungen bei der Schneidgeschwindigkeit  $V$  mit dem Ausmaß der elastischen Verformung  $E$ . Wenn die laufende Position der Schleifscheibe 12 dem Punkt  $P1$  oder  $P3$  entspricht, kann man auf die Festlegung des Querdurchlauf-Endpunkts verzichten. Bei dieser Querlauf-Schleifbetriebsart wird die Schleifsteuerung auf der Grundlage des in den Schleifscheibenmotor 24 eingespeisten Laststroms nicht durchgeführt.

Wie aus der obigen Beschreibung hervorgeht, wird auf der Grundlage der Tatsache, daß der in den Schleifscheibenmotor eingespeiste Antriebsstrom und die Schnitttiefe der Schleifscheibe in einer gewissen Beziehung zueinander stehen, der Antriebsstrom von einem Detektor erfaßt, und die Schnitttiefe, um die die Schleifscheibe in die Walze einschneidet, wird so gesteuert, daß der Antriebsstrom einen voreingestellten Strom erreicht. Das Werkstück wird zu einer gewünschten Form geschliffen, indem wiederholt die Bewegung der Schleifscheibe in axialer Richtung des Werkstücks umgekehrt wird. Es ist daher nicht nötig, den Verschleißzustand des abzdrehenden Werkstücks zu messen und numerische Steuerdaten zum Abdrehen des Werkstücks zu programmieren. Das Werkstück wird mit hoher Effizienz geschliffen. Durch einfaches Einstellen einer Schnitttiefe für die Schleifscheibe als in den Schleifscheibenmotor

einzuspeisenden Antriebsstrom, durch Einstellen eines Startpunkts und durch Geben eines Abdrehbefehls läßt sich diejenige Zone des Werkstücks, die weniger abgenutzt ist, automatisch bis auf eine gewünschte Schnitttiefe abschleifen. Dieser erfindungsgemäße Prozeß ist wirtschaftlicher als das gleichförmige Abschleifen des Werkstücks.

Wenn der Antriebsstrom eine vorbestimmte Vergleichsbedingung erfüllt, wird die Steuerung vom laufenden Bearbeitungsprogramm transferiert zu einem Nachfolge-Bearbeitungsprogramm, so daß einfach und genau ohne Messung der Werkstück-Form und ohne Erstellung eines Bearbeitungsprogramms festgestellt werden kann, wie die Schleifscheibe mit dem Werkstück in Berührung gelangt. Deshalb läßt sich die Richtung, in der sich die Schleifscheibe bezüglich des Werkstücks bewegt, für ein effizienteres Schleifen des Werkstücks automatisch umkehren.

Die Erfindung beruht außerdem auf der Tatsache, daß der in den zum Drehen der Schleifscheibe dienenden Motor eingespeiste Strom in einer gewissen Beziehung steht zu der Netto-Schnitttiefe der Schleifscheibe und dem Ausmaß des Verschleißes der Schleifscheibe. Dementsprechend wird der in den Schleifscheibenmotor eingespeiste Antriebsstrom erfaßt, und der Korrektur-Bewegungshub der Schleifscheibe entsprechend deren Verschleiß wird für die radiale Bewegung der Schleifscheibe aus dem Antriebsstrom berechnet. Die berechnete Größe wird auf den Ziel- oder Soll-Bewegungshub addiert, um so eine Reduzierung des Schleifhubs zu kompensieren die verursacht wird durch den Verschleiß der Schleifscheibe. Die Verringerung des Schleifhubs (der Schnitttiefe), verursacht durch den Verschleiß der Schleifscheibe beim Schleifvorgang, läßt sich automatisch und einfach kompensieren. Es ist also möglich, das Werkstück mit hoher Genauigkeit zu bearbeiten, ohne das komplizierte Verfahrensschritte und Prozeduren erforderlich sind, wie beispielsweise das Vorhersagen des Ausmaßes des Verschleißes der Schleifscheibe und das Erstellen numerischer Steuerdaten unter Berücksichtigung einer Reduzierung der Schnitttiefe aufgrund eines solchen Verschleißes. Außerdem wird das Messen von Walzenabmessungen, das Bestätigen von Dimensionsgenauigkeiten und das wiederholte Schleifen bei der Endbearbeitung auf ein Minimum reduziert, so daß die Effizienz des gesamten Bearbeitungsvorgangs erhöht wird.

Weiterhin wird erfindungsgemäß die Differenz zwischen dem in den Schleifscheibenmotor eingespeisten Antriebsstrom und dem Sollstrom in jedem Zeitintervall, in welchem die Schnitttiefe auf der Grundlage des Verschleißes der Schleifscheibe korrigiert wird, bestimmt, um sukzessive den Verschleißkorrekturkoeffizienten zu korrigieren, und der Bewegungshub der Schleifscheibe wird auf der Grundlage des korrigierten Verschleißkorrekturkoeffizienten korrigiert. Auf diese Weise wird die Schnitttiefe präzisiert durch automatisches und sukzessives Korrigieren des Verschleißkorrekturkoeffizienten in Abhängigkeit des Ausmaßes des Verschleißes der Schleifscheibe, welches mit dem zeitlich fortschreitenden Schleifvorgang variiert.

Die Erfindung beruht weiterhin auf der Tatsache, daß der in den die Schleifscheibe drehenden Motor ein gespeiste Laststrom in einer gewissen Beziehung steht zu der Netto-Schnitttiefe der Schleifscheibe und zu dem Ausmaß der elastischen Verformung der Schleifscheibe. Der in den Schleifscheibenmotor eingespeiste Antriebsstrom wird erfaßt, und es wird der Bewegungs-

Korrekturbetrag oder -korrekturhub für die Schleifscheibe entsprechend dem Ausmaß der elastischen Verformung der Schleifscheibe für die radiale Richtung des Werkstücks aus dem Antriebsstrom berechnet. Die berechnete Größe wird auf den Soll-Bewegungshub addiert, um so eine Reduzierung des Schleifhubs zu kompensieren, die hervorgerufen wird durch die elastische Verformung der Schleifscheibe beim Schleifvorgang. Die Reduzierung des Schleifhubs oder der Schleifmenge (Schnitttiefe), die verursacht wird durch die elastische Verformung der Schleifscheibe beim Schleifvorgang, läßt sich automatisch und auf einfache Weise kompensieren. Es besteht daher die Möglichkeit, das Werkstück mit hoher Genauigkeit zu schleifen, ohne daß komplizierte Prozeduren erforderlich sind wie beispielsweise beim Vorhersagen des Ausmaßes der elastischen Verformung der Schleifscheibe und das Erstellen numerischer Steuerdaten unter Berücksichtigung einer Reduzierung der Schnitttiefe wegen eines solchen Verschleißes.

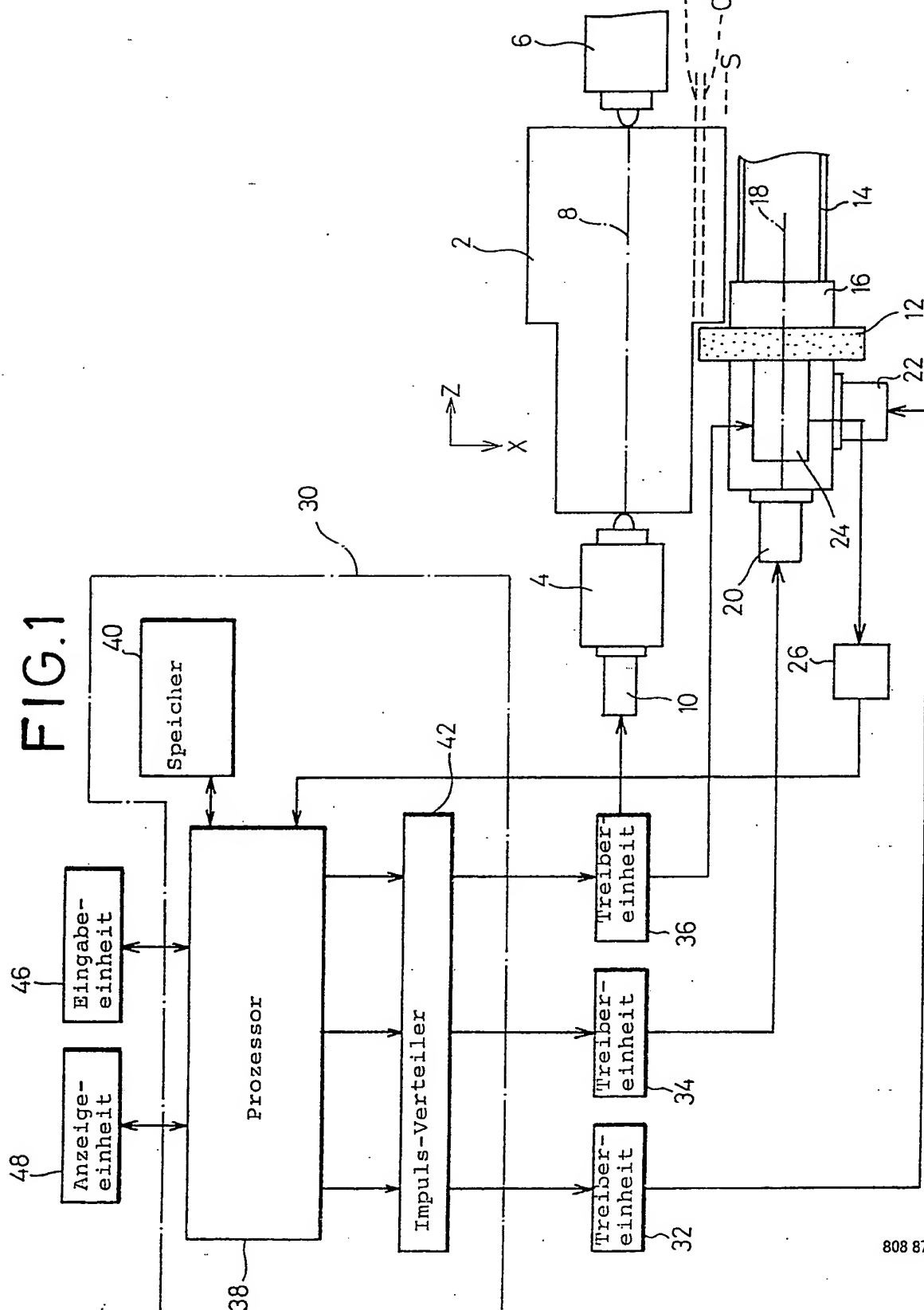
Weiterhin wird die Schleifscheibe in axialer und radialer Richtung des Werkstücks auf der Grundlage eines speziellen Befehls bewegt, durch welchen mehrere Operationsbefehle selektiv durch Parameter bestimmt werden können, um das Werkstück anhand der Befehle, die durch den speziellen Befehl ausgelöst werden, zu der gewünschten Form bearbeitet wird. Wenn das Werkstück geschliffen wird, werden automatisch ein oder mehrere Befehle für individuelle Schleiffunktionen ausgelöst, um den Schleifvorgang durchzuführen. Es ist deshalb nicht nötig, komplizierte Programme für einzelne Werkstücke zu erstellen, und die notwendigen Parameter lassen sich ohne Eingriff seitens einer Bedienungsperson einstellen. Dadurch erhöht sich die Effizienz des Schleifvorgangs erheblich.

Durch einfaches Auswählen einer gewünschten Walzenform und durch Einstellen von Parametern, die der ausgewählten Walzenform entsprechen, lassen sich automatisch Punktmengendaten, welche numerische Steuerdaten darstellen, nach Maßgabe einer vorbestimmten Formel berechnen, und die Walze läßt sich anhand der berechneten Punktmengendaten oder Punktgruppen-daten zu der gewünschten Form schleifen. Der Schleifvorgang wird also mit hoher Effizienz durchgeführt und benötigt keine komplizierten Prozeduren wie beispielsweise die Auswahl einer Steuerkurve abhängig von der gewünschten Walzenform und der gewünschten Walzenlänge oder das Programmieren von Punktmengendaten für jede Walze. Walzen mit verschiedenen gekrümmten Oberflächen lassen sich mit höchster Einfachheit schleifen, wenn man die erfindungsgemäße numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine verwendet.

3828594

**Nummer:** 38 28 594  
**Int. Cl.4:** B 24 B 51/00  
**Anmeldetag:** 23. August 1988  
**Offenlegungstag:** 9. März 1989

$\therefore \underline{43} : \underline{1} : 43$



808 870/564

FIG.2

Fig. 44:11 44  
3828594

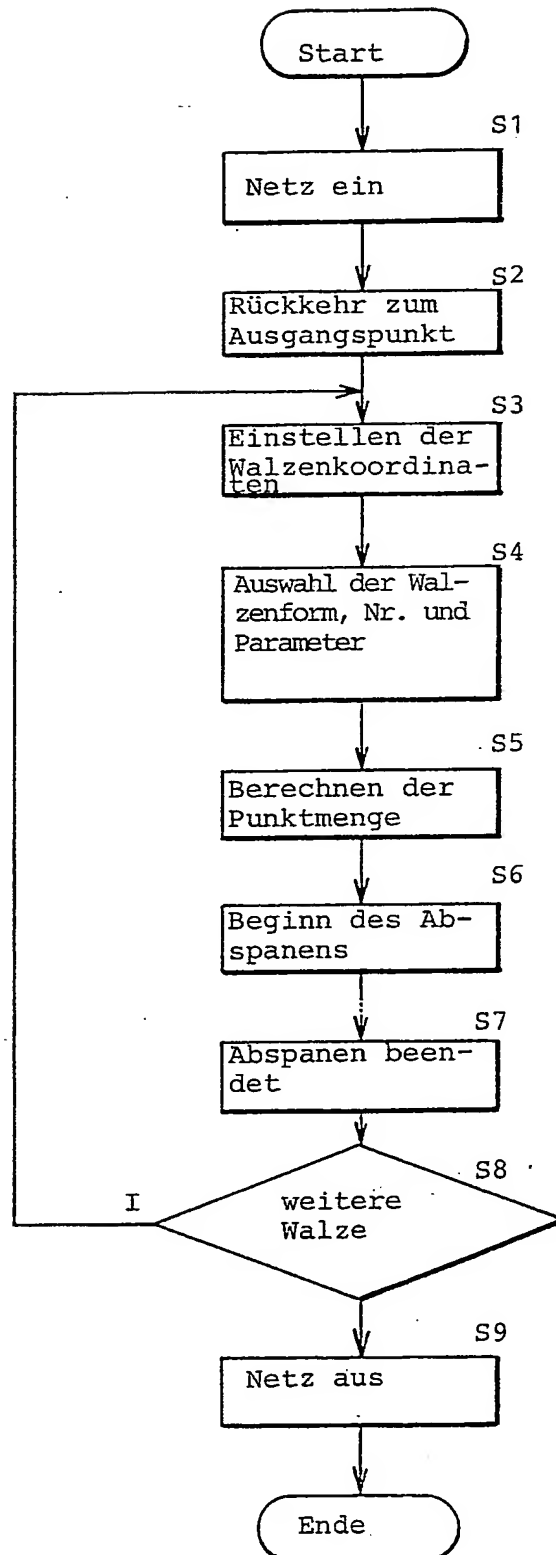
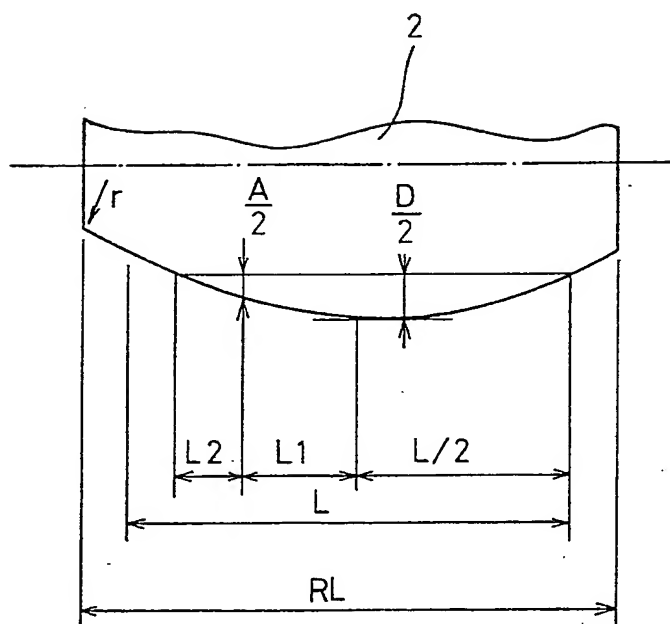






FIG.3c



3828594

FIG.3d

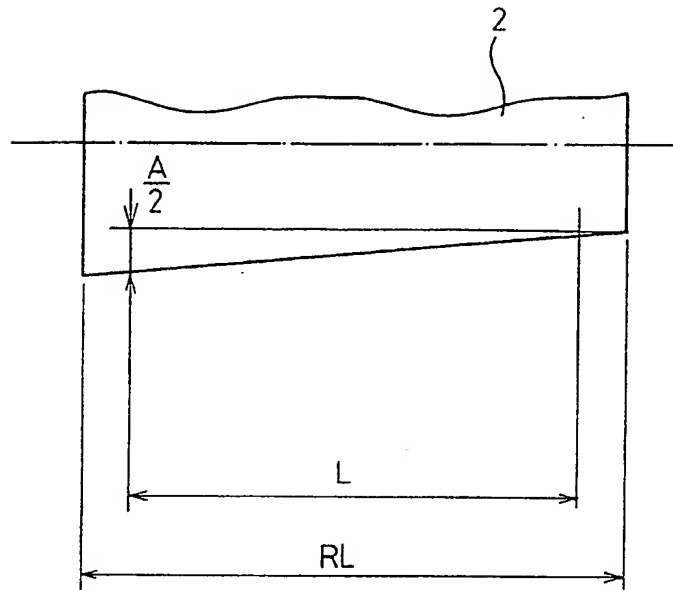


FIG.3e

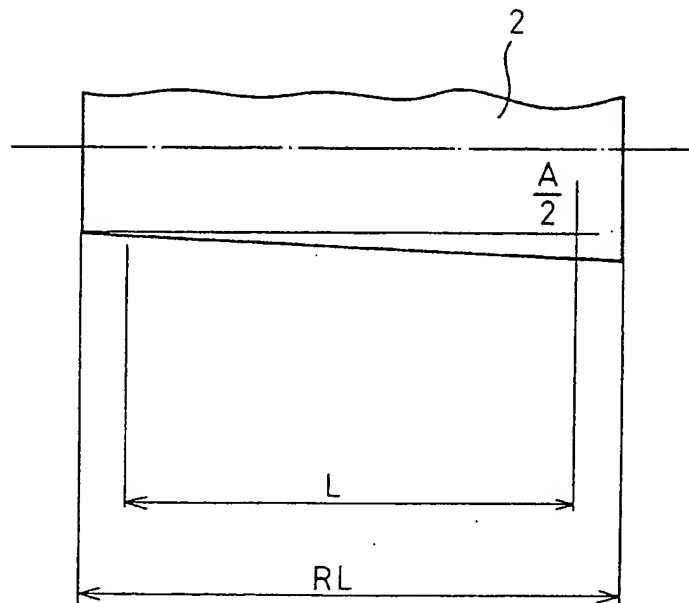


FIG.4

Variablen-Nr.	Inhalt	
V 8502	Koordinaten des linken Walzenelements (P1)	
V 8503	Koordinaten der Walzenmitte (P2)	
V 8504	Koordinaten des rechten Walzenendes	
V 8510	Walzenform 1 = Sinus konisch, Bogen 2 = Sinus 3 = Bogen, konisch, Sinus 4 = rechtskonisch 5 = linkskonisch	Nr. 1
V 8511	Walzenlänge	
V 8512	Formlänge (L)	
V 8513	Formtiefe (D)	
V 8520		Nr. 2
V 8529		
V 8600		Nr. 10
V 8609		

FIG.5

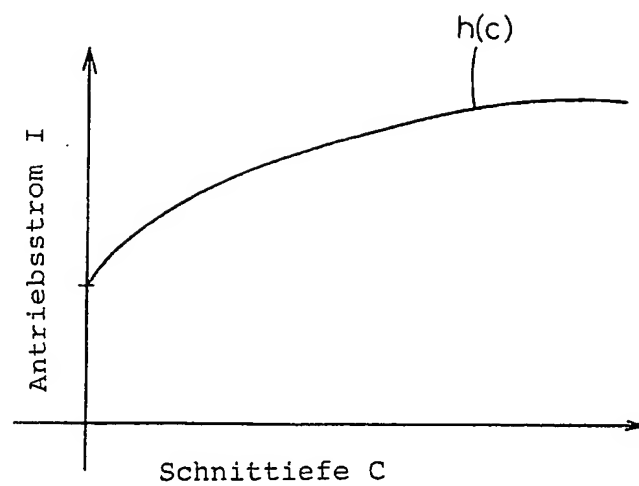


FIG.6

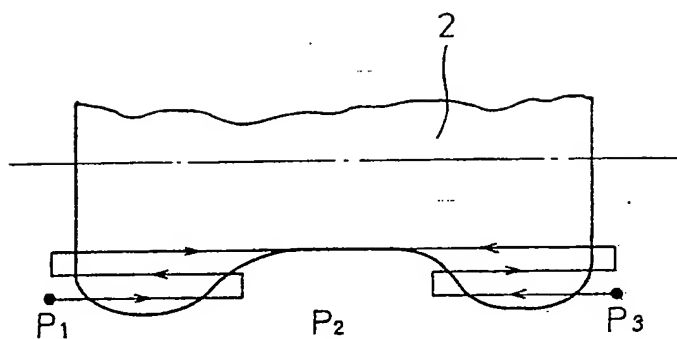
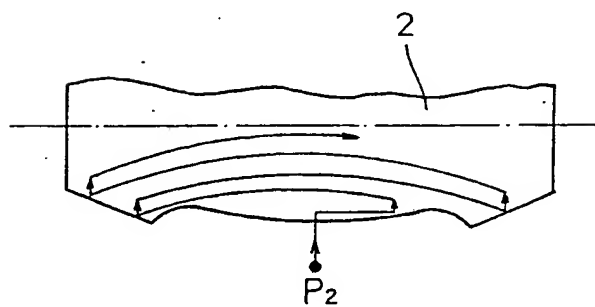


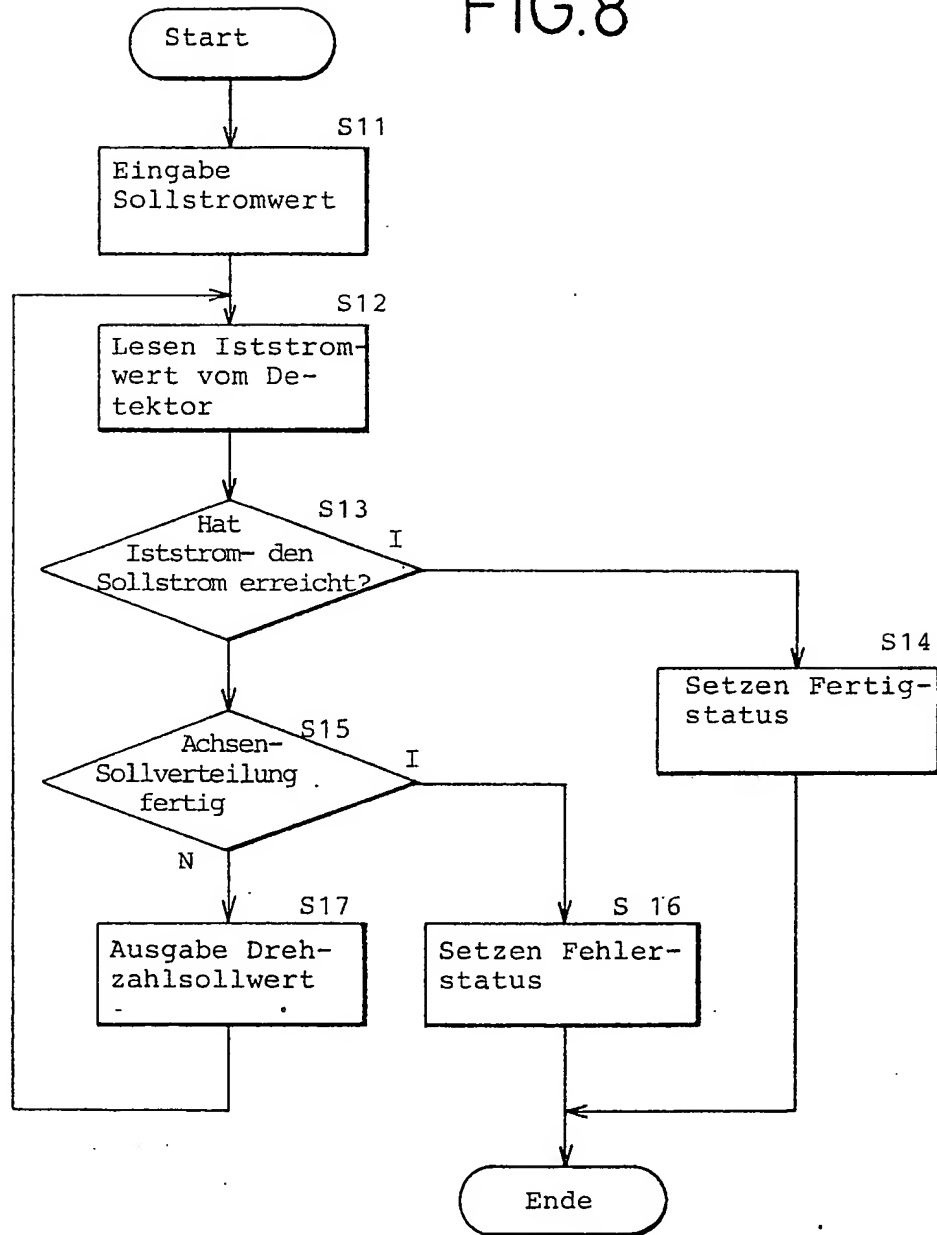
FIG.7



3828594

3828594

FIG.8



23-03-83

3828594

FIG.9

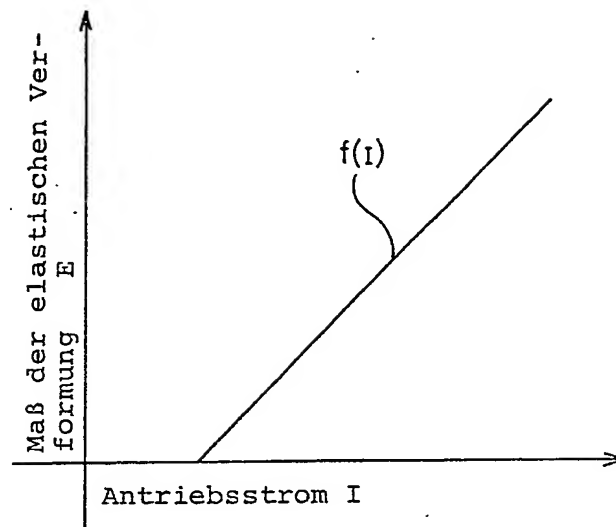
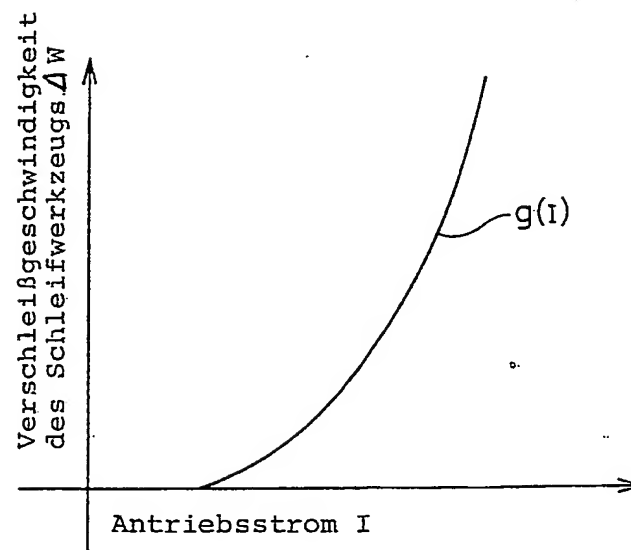


FIG.10

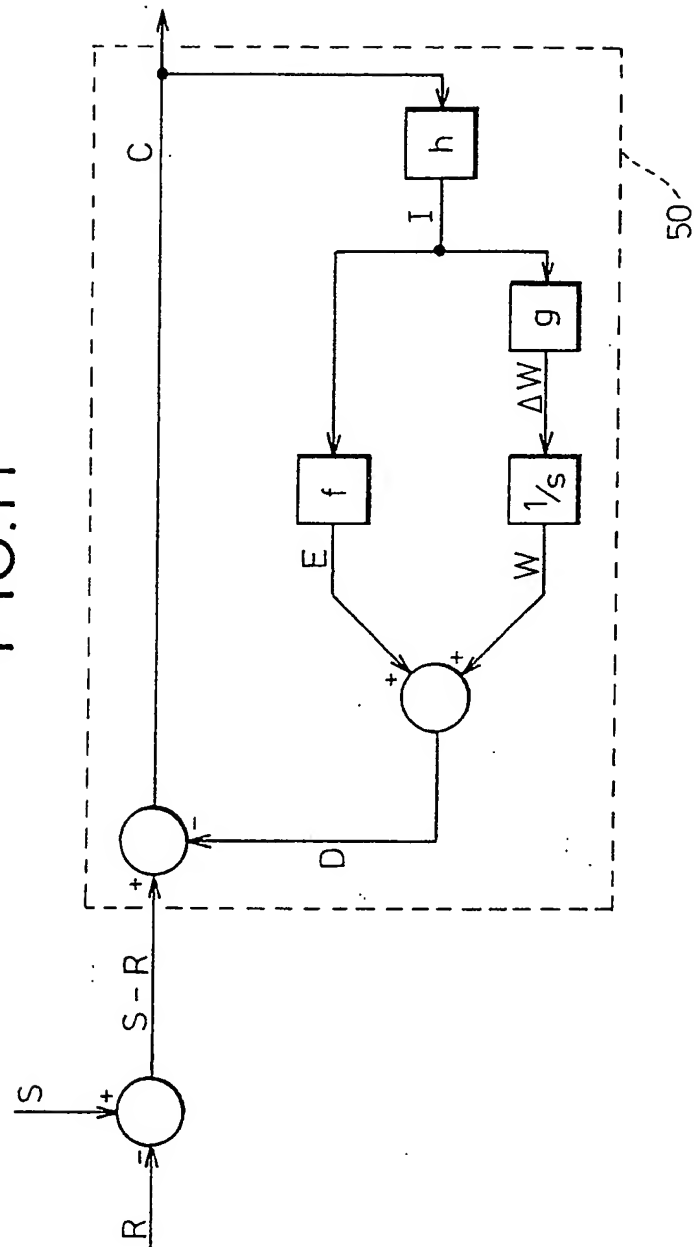




3828594

3828594

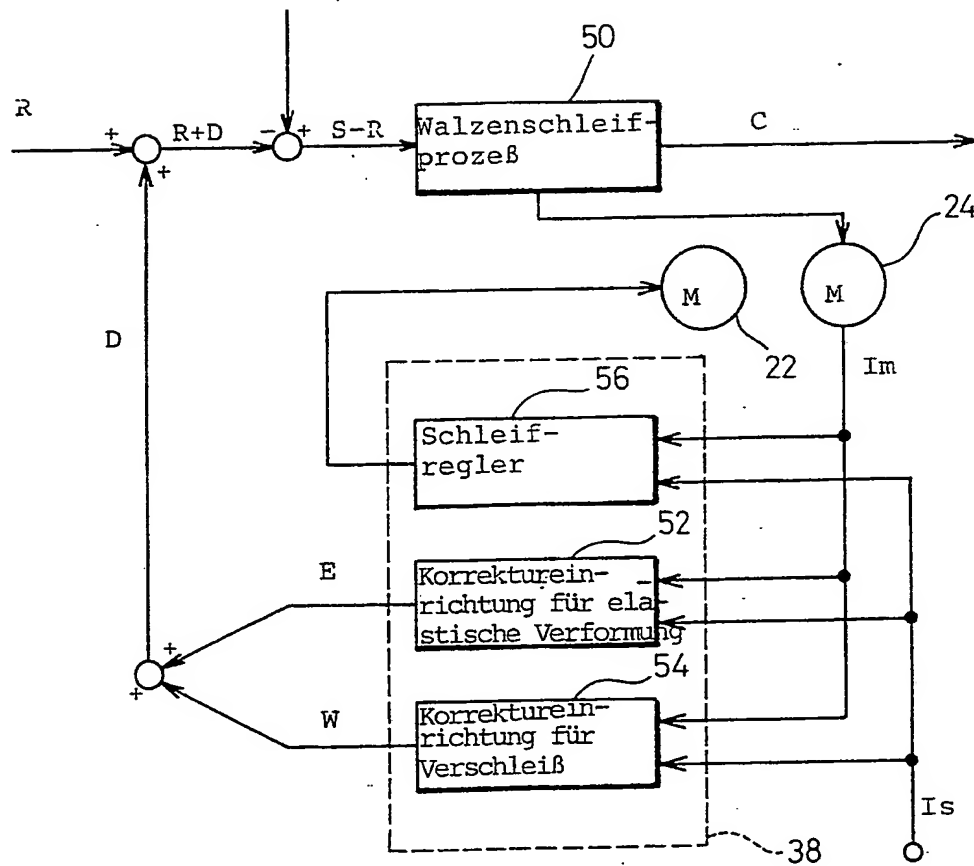
FIG.11



23-03-83

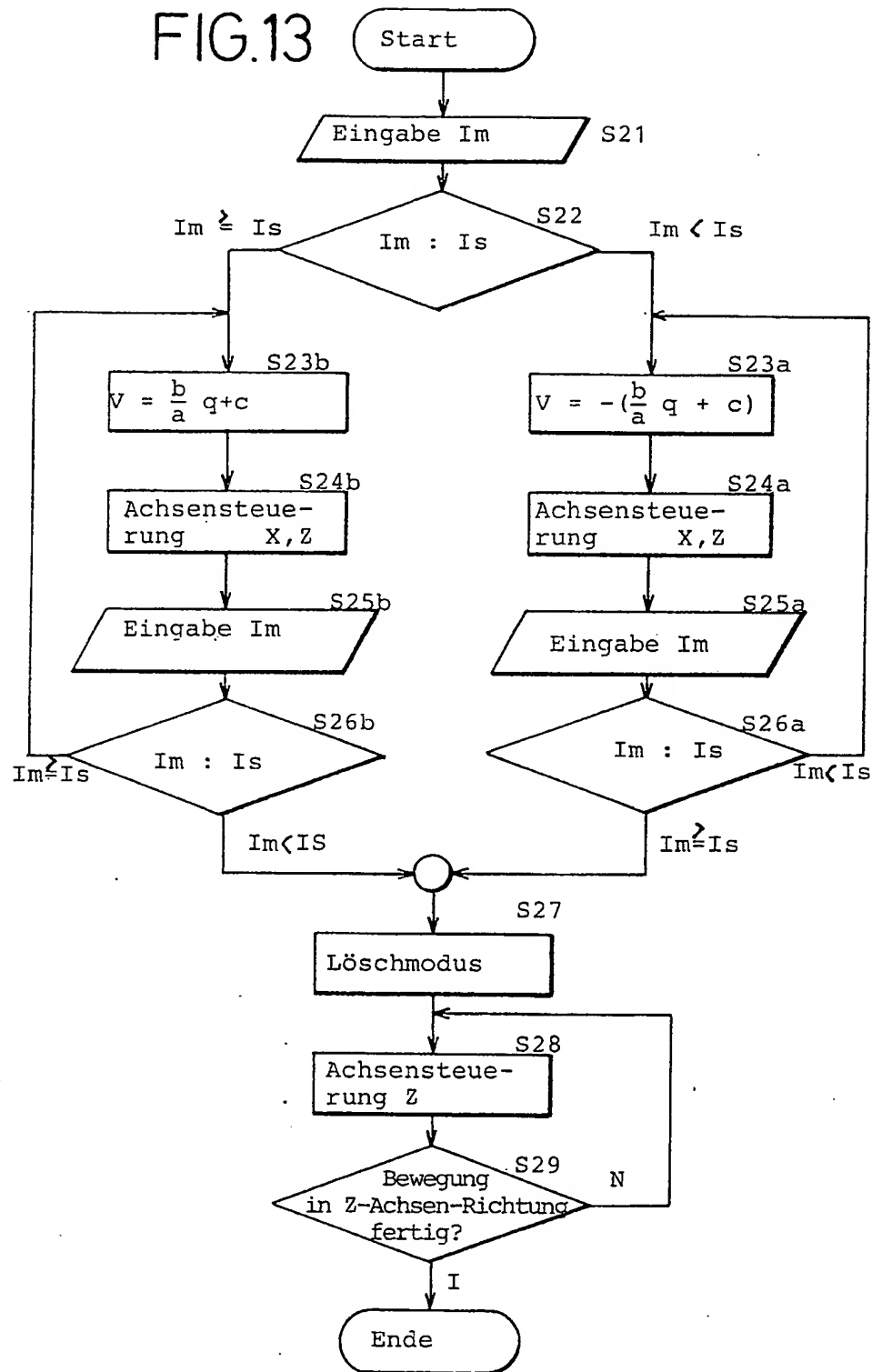
3828594

FIG.12



3828594

FIG.13



2000-03-03

3828594

FIG.14

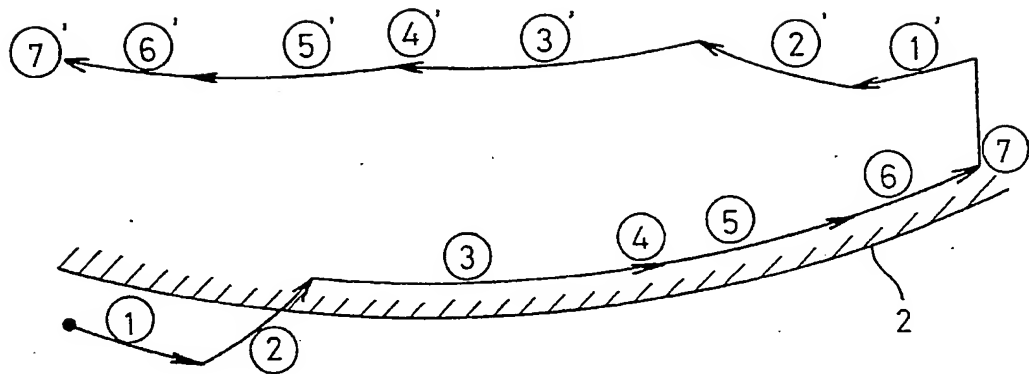


FIG.15

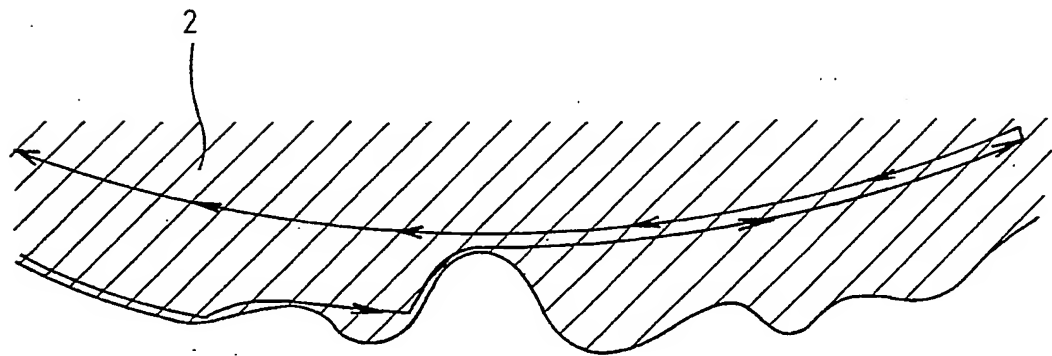
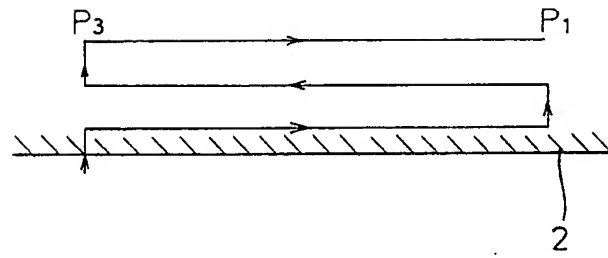


FIG.16



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record.**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☒ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**